قصة الميكانيكا الكمية

تأليف

محمد زكريا توفيق

مقدمة

يعتقد الكثير من العلماء أن نظرية الكم هى أصعب النظريات فهما. فهي عبارة عن مجموعة مبادئ وقوانين فى الفيزياء، تقوم بدراسة جسيمات الذرة المتناهية فى الصغر، والتي لا ترى بالعين المجردة أو بأحدث التليسكوبات الضوئية.

العلماء أنفسهم كانوا يعلمون أن نظرية الكم صعبة الفهم. في الواقع، الكتب العديدة التى تشرح هذه النظرية، تثبت أنه لا أحد من مؤلفيها يفهمها. نظرية الكم هذه تبدو من الأشياء التى يجب أن تؤخذ على علاتها. ما دامت تأتي بنتائج إيجابية.

نيل بور قال يوما: "أى واحد لا يصدم بنظرية الكم، هو في الواقع شخص لا يفهمها بالمرة". وقال جون جرين: "طالما أنت لا تسأل أو تستفسر عن نظرية الكم، فكل شئ على ما يرام". وقالت أحد الصحف فى يوم من الأيام: "هناك 12 عالما، هم الذين يفهمون نظرية النسبية. لكن يمكننا القول بلا فخر، أنه ليس هناك أحد يفهم نظرية الكم". فمن يقول بأن دراسة الفيزياء هذه الأيام سهلة؟

نظرية الكم، مع نظرية النسبية الخاصة والنسبية العامة لأينشتين، تعتبر أساسيات علم الفيزياء اليوم. تعتمد عليها كل الدراسات الخاصة بالذرة وجزيئياتها الصغيرة منذ بداية القرن العشرين.

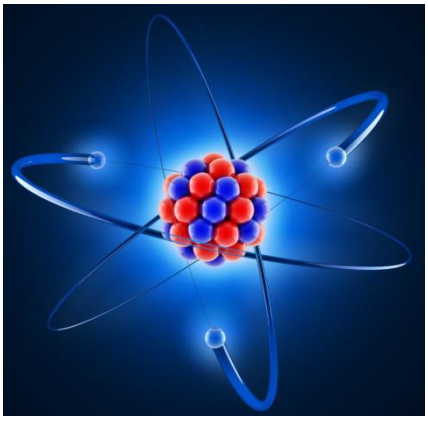
تطورت على أيدى علماء عظام مثل ماكس بلانك ووارنر هيزنبيرج ونيلز بور وماكس بورن وإيروين شرودنجر. لكن ما هى نظرية الكم التى نتحدث عنها؟ سأحاول فى هذا الكتاب تبسيط النظرية بقدر الإمكان بدون ذكر معادلاتها الرياضية، إلا فيما ندر. فاللهم يسر وأعن.

الأبواب الأخيرة تشرح بطريقة مبسطة نظرية النسبية الخاصة ونظرية النسبية العامة لأينشتاين، وفكرة القنبلة الذرية والهيدروجينية. الكتاب مذيل بالصور الإيضاحية ومكتوب لغير المتخصصين بأسلوب بعيد عن التعقيد، لكنه لا يفتقد الدقة العلمية.

أرجو أن ينال هذا العمل المتواضع رضاكم ودعواتكم، وأن تجدوا المتعة والفائدة أثناء قراءته أو دراسته، مثل المتعة والفائدة التي نلتها أثناء كتابته.
محمد زكريا توفيق

الباب الأول

كيف ظهرت نظرية الكم من حطام النظرية الكلاسيكية


تركيبة الذرة

مع بداية القرن العشرين، دخل علم الفيزياء عالم جديد. عالم الذرة متناهي الصغر، وعالم الأنوية الذرية وجسيماتها الأولية. القرن العشرون أنتج لنا نظرية جديدة، خدمت علماء الفيزياء بإخلاص منذ اكتشافها، وهي نظرية الميكانيكا الكمية. نظرية مجنونة، لكنها مفيدة إلى أبعد الحدود.

عالم الذرة الجديد يختلف بشكل جذري عما نعرفه من قبل. الفرق عظيم إلى درجة أن العلماء لم تجد الكلمات المناسبة لوصف ما يحدث. نظرية الميكانيكا الكمية، عليها أن تجد مفاهيم جديدة لعالم الذرة متناهي الصغر، وسلوكه الغريب الذي يفوق كل تصور أو خيال.

عادة، لا تعمل قوانين الفيزياء الكلاسيكية القديمة في عالم الذرة الجديد. فجسيمات الذرة تهرب منا وتفقد أبعادها وتتحول إلى موجات. ثم نجد الموجات تعود لكي تسلك سلوك الجسيمات من جديد. الإلكترونات، وجسيمات أخرى للذرة، تستطيع المرور خلال حواجز غير قابلة للاختراق، أو إنها تختفي كلية، تاركة وراءها وميضا من الضوء (فوتونات). مثل هذه الأشياء، تتعامل معها نظرية الميكانيكا الكمية.

الطاقة الذرية، النظائر المشعة، أشباه الموصلات، الجسيمات الأولية، الليزر. كلها ألفاظ مألوفة، إلا أنها كلها حديثة الاكتشاف، لم تظهر إلا في القرن العشرين.

في هذا العصر، تقدمت المعرفة بطريقة مذهلة. كل خطوة جديدة، تفتح معها آفاقا عديدة غير مسبوقة. العلوم القديمة تقوم بتجديد شبابها بنظريات جديدة. علم الفيزياء

له الفضل والريادة على باقي العلوم، فهو يعمل كطلائع لاكتشاف عالم المجهول. وكلما اتسعت الجبهة وخيل إلينا أن الجهود قد تباطأت، نفاجأ باندفاع وتجديد وإصرار بين علماء الفيزياء لاكتشاف هذا العالم المجهول .

لفك طلاسم الطبيعة ومعرفة أسرارها، كان على علماء الفيزياء تصميم أجهزة متقدمة ودقيقة. في أقسام الطبيعة بالجامعات والمعاهد ومراكز البحوث، يصطف مئات بل آلاف علماء الفيزياء النظرية لرسم خريطة أو نموذج يوافق نتائج الأبحاث والتجارب العملية. لا يتم ذلك في الخفاء، لأن مجال المعركة، مضاء بأبحاث العلماء الأفذاذ. أقوى أشعة الضوء الساطعة، تأتينا من نظريتي النسبية والميكانيكا الكمية.

نظرية الميكانيكا الكمية جاءتنا مع بداية القرن العشرين. 17 ديسمبر عام 1900م. هذا هو اليوم المبارك الذي أعلن فيه عالم الفيزياء الألماني، ماكس بلانك، أمام جمعية أكاديمية العلوم الفيزيائية، بأنه قد توصل إلى حل أحد المصاعب التي تواجه نظرية الإشعاع الحراري.

الصعوبات التي تعتري العلوم شئ طبيعي، يواجهها العلماء كل يوم. لكن لقاء بلانك مع الجمعية الأكاديمية للعلوم، كان له أهمية خاصة. لأنه قد تسبب في تطور علم الفيزياء لسنوات قادمة.

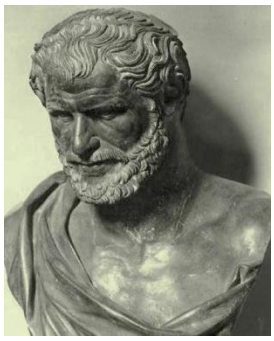
شجرة معارف جديدة قد نمت من بذور أفكار بلانك. التي باتت نقطة انطلاق لاكتشافات مذهلة تفوق الوصف، حتى بالنسبة لمؤلفي قصص الخيال العلمي. من أفكار بلانك، نما علم الميكانيكا الكمية، الذي آذن بكشف أسرار عالم جديد متناهي الصغر، الذرة ونواتها، والجسيمات الأولية التي تكونها.

لكن، ألم يكن الناس يعرفون شيئا عن الذرة قبل القرن العشرين؟ نعم، كانوا يعرفون شيئا إلى حد ما. معرفتهم لم تكن تتعدى التخمين والتقدير. فضول الإنسان لم يتوقف عن التكهن بمثل هذه الأشياء. كان الإنسان يتخيل أشياء، يثبت صحتها بعد ذلك بعدة قرون.

قبل عصر الرحالة والاكتشافات، كان يعتقد البعض بوجود أناس وحيوانات وأراضي أبعد من المكان الذي يعيشون فيه. كذلك كان الاعتقد بوجود عالم الأشياء الصغيرة قبل اكتشافها.

في الزمن القديم، لم يتوقف الفلاسفة والعلماء عن التساؤل، كيف خلق العالم الذي نعيش فيه من فوضى عارمة ومواد لا شكل لها؟ من أين أتت هذه المواد، ومما تتكون، وما هي مواد البناء الأولية التي تدخل في تركيبها؟

جبال الكحل تفنيها المراود، وتلال هائلة الحجم يفنيها عصف الريح ونحر المياة وغضب البراكين. الصخور مع مرور الوقت، تتفتت إلى قطع صغيرة. مع مرور مئات، بل آلاف السنين، تتحول هذه القطع الصغيرة إلى تراب ورمال.

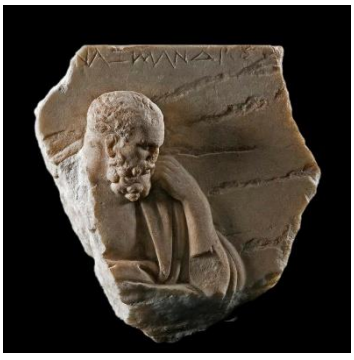


ديموقريطس

فهل لهذا التكسير والتفتيت من نهاية؟ وهل هناك جسيمات صغيرة من المادة، تعجز
الطبيعة عن تكسيرها وتفتيتها؟ الإجابة هي "نعم". هكذا قال الفلاسفة الإغريق القدماء، أبيقور، ديموقريطس، وآخرين في عصره.

هذه الجسيمات الصغيرة التي لا تنقسم، أطلق عليها اسم "ذرة". كلمة ذرة باللغة اليونانية (Atom) تعني "التي لا تنقسم".

لكن، ما هو شكل هذه الجسيمات؟ في الزمن القديم، لم يمكن الإجابة على هذا السؤال. الذرة ربما تكون في شكل كرة مصمتة، لا يمكن اختراقها أو تفتيتها. أو ربما لا تكون كذلك. إذا كانت غير ذلك، فكم صورة وشكل تكون عليه؟



أناكسيماندر

ربما تكون كلها على صورة واحدة وشكل واحد، أو ربما تكون بآلاف الأشكال. بعض الفلاسفة، منهم أناكسيماندر، كانوا يعتقدون بأن هذه الصور والأشكال أربعة فقط.

العالم كله يتكون من أربعة عناصر مختلفة من المادة. هي: الماء، الهواء، التراب، والنار. يتكون كل منها من ذرات مختلفة، لكنها متشابة بالنسبة للعنصر الواحد، في كل شئ.

بالطبع مثل هذه المعلومات الضئيلة عن الذرة، مع نقص التكنولوجيا والتجارب العملية اللازمة، لأن فلاسفة الإغريق كانوا علماء نظريين وليسوا عمليين، لم تسمح بتقدم علم الذرة كثيرا. وبات محصورا في كيف تعمل الذرات المختلفة مع بعضها، وهذا هو علم الكيمياء.

ثم نسي كل شئ عن كنه الذرة لقرون عديدة. لكن مفهوم الذرة وطبيعتها تم إعادة اكتشافه، ولم يخترع من فراغ. فقط في بداية القرن التاسع عشر، بدأ الناس يسمعون عن الذرة. لا عن طريق الفلاسفة أو علماء الفيزياء، ولكن عن طريق علماء الكيمياء.

مع بداية القرن التاسع عشر، بينما كان نابليون يعيد رسم خريطة الدول الأوروبية، كان العلماء ينكفئون على أجهزتهم في معاملهم لكي يختبروا طبيعة الأشياء بأسلوب راديكالي ثوري، لكي يعيدوا صياغة مفاهيم كانت راسخة في أذهانهم، غير قابلة للشك.

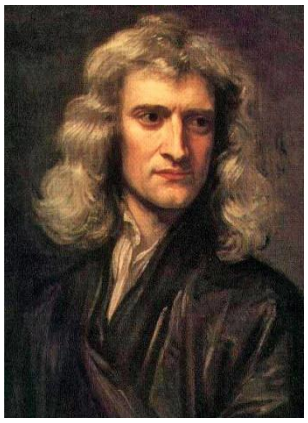
"ينج" في إنجلترا و"فريزنيل" في فرنسا، قاما بوضع أسس النظرية الموجية للضوء. "آبل" في النرويج و"جاليوس" في فرنسا، قاما بوضع حجر الأساس في صرح علم الجبر الحديث (Groups).

لافوازيه

"لافوازيه" الفرنسي و"دالتون" الانجليزي، بينا أن الكيمياء قادرة على اختراق كنه الأشياء بعمق. علماء الكيمياء والفيزياء والرياضيات، في ذلك الوقت، قاموا باكتشافات مذهلة، مهدت الطريق لازدهار العلوم الدقيقة في النصف الأخير من القرن التاسع عشر.

"بروت" الانجليزي، في عام 1815م، اقترح وجود جسيمات دقيقة، تستطيع الاشتراك في كل التفاعلات الكيميائية بدون أن تتغير أو تتحطم، نسميها بالعوامل المساعدة. هذه الجسيمات، هي الذرات بالطبع.

أثناء هذه السنوات، وضع العالم الفرنسي اللامع "لاجرانج"، أصول الميكانيكا الكلاسيكية بطريقة أنيقة، لكن لم يكن فيها مكان للذرة.


اسحاق نيوتن

لا شئ يأتي في العلوم، وربما في الآداب والفنون والفلسفة أيضا، من فراغ. لذلك يمكننا القول بأن الميكانيكا الكمية، هي بنت الميكانيكا الكلاسيكية التي وضع قوانينها إسحاق نيوتن.

نيوتن لم يكن هو مكتشف قوانينها الأوحد. فقد ساهم في تطويرها أيضا علماء عظام آخرون كثيرون في عصر النهضة مثل: ليوناردو دافنشي، الرسام الشهير، وجاليليو جاليلي، الفلكي المشهور، وعالم الرياضيات الهولندي سيمون ستيفن، والفيلسوف وعالم الرياضيات الفرنسي باسكال.

لكن نيوتن هو الذي وضع قوانين الحركة، وصاغها في نظرية بسيطة رائعة. تمخضت عن ثلاث قوانين تصف حرة الأجسام المتحركة والساكنة. قوانين الحركة هذه، يقوم بدراستها كل طلبة المدارس الثانوية قسم علمي.

نحن نعرف بالضبط تاريخ ميلاد الميكانيكا الكلاسيكية، وهو عام 1687م، عندما نشر نيوتن في لندن مؤلفه العظيم "الأصول الرياضية للفلسفة الطبيعية". في ذلك الوقت، الفيزياء كانت تسمى بالفلسفة الطبيعية.

هذا الفضاء المترامي، بما فيه من أجرام سماوية متباينة الحجم والكتلة، كان في وقت ما، منذ زمن سحيق، في حالة سكون. إنه الله هو الذي أعطى إشارة البدء، نفخ في الكون الحياة، فأصبح يدب بالحركة وفقا للإرادة الإلهية.

منذ ذلك الحين، بدأت الأجسام تتحرك وتتفاعل وفقا لقوانين عديدة ثابتة. من هذه القوانين، قوانين نيوتن الثلاث المشهورة التي تصف حركة الأجسام.

لم تعد الأحداث تأتي بالصدفة. كل شئ معد ومحدد سلفا. لا شئ عفوي يمكن أن يحدث من نفسه. أصبح الكمال والهارمونية هي صفة الكون الذي تسيره قوانين إلهية ثابتة.

ظل هذا الفكر سائدا بين العلماء إلى أكثر من قرن من الزمان بعد نيوتن. كلما اكتشفت خاصية جديدة، كانت هذه الخاصية تتوافق تماما مع هذه النظرية الكونية. لكن لم يدم هذا الحال طويلا. فدوام الحال من المحال.

بعد ذلك، بدأ العلماء يشكون في ثبات نظرية الخلق هذه. بدأت الظواهر ونتائج التجارب المتوالية تتعارض ولا تنسجم ولا تتوافق مع النظرية القديمة، نظرية الميكانيكا الكلاسيكية وقوانين نيوتن.

مع نهاية القرن التاسع عشر، أصبحت قوانين نيوتن المشهورة تواجه أزمة طاحنة. هذه الأزمة، أودت بفكرة الحتمية الميكانيكية للكون. الكون ليس بالبساطة التي كنا نعتقد أنه بها، ولم يعد يعمل مثل الساعة التي تسيرها القوانين الإلهية الثابتة.

لم تعطنا "الميكانيكا الكمية" معلومات جديدة فقط، وإنما جاءت أيضا بنظرية جديدة مختلفة لتصف هذا الكون. لأول مرة في تاريخ العلوم، يتنبه العلماء للأحداث التي تظهر بالصدفة البحتة من خلال الفوضى العارمة.

الكون لم يعد حتمي، مسير كالساعة بقوانين ثابتة. لقد سقطت نظرية الحتمية، التي تعني أن لكل شئ سبب، ولكل فعل رد فعل، وكل فعل وراءه فعل مسبب له.

الكون، يا سادة، بات محكوما بالفوضى الضاربة، وأصبحت أحداثه لا تخضع للقوانين الثابتة المعروفة. هذه أزمة فكرية شديدة الخطورة، استغرق الخروج منها بعض الوقت، واستنزفت جهود علماء وفلاسفة عباقرة ندر وجود مثلهم.

يقول المثل، الفضول قتل القطة. هذا ينطبق أيضا على النظريات العلمية. النظرية تبدو لنا صحيحة طالما هي قادرة على تفسير كل الحقائق الموجودة في ذلك الوقت. لكن عندما تظهر حقائق جديدة لا تستطيع النظرية تفسيرها، هنا تسقط النظرية ونعتبرها غير صحيحة.

الميكانيكا الكلاسيكية كانت نظرية صحيحة عندما ينحصر استخدامها في الأحداث الميكانيكية. لكن العلماء في القرن التاسع عشر لم يكن يتعاملون مع أحداث ميكانيكية فقط.

كانوا يدرسون الحرارة، ومنها ا تولد علم الميكانيكا الحرارية. وكانوا يدرسون الضوء، والكهرباء والمغناطيسية. إلى هنا وكل شئ بدا أنه على ما يرام، على الأقل على السطح.

لكن مع كبر صرح الفيزياء الكلاسيكية، بدأت علامات الإجهاد والشروخ تظهر. ثم بدأ الصرح كله يتهاوى تحت وابل الحقائق الجديدة المكتشفة. من هذه الحقائق الجديدة المذهلة، حقيقة ثبات سرعة الضوء.

سرعة الضوء ثابتة حتى لو حملت مصباحا وسرت به بسرعة رهيبة. ضوء المصباح يسير وهو ثابت بنفس سرعته وهو متحرك. سرعة الضوء لايمكن زيادتها. هذا يختلف عن سرعة العربات والطائرات وحتى الصواريخ التي نعرفها.

لكي يخضع الضوء للنظريات والقوانين الكلاسيكية القديمة، حاول العلماء افتراض وجود وسط اسموه "الأثير"، لكي يسير فيه الضوء كموجات. لكن، حتى الأثير لم يستطع إنقاذ الفيزياء الكلاسيكية القديمة من قدرها المحتوم.

عقبة كأداء أخرى ظهرت في وجه النظرية الكلاسيكية القديمة، جاءت عن طريق دراسة الإشعاع الحراري للأجسام. ثم جاءت الضربة القاضية عند اكتشاف المواد المشعة. فالمواد المشعة، يحطم إشعاعها أنوية الذرات. فضلا عن أنها لا تخضع للقوانين الميكانيكية القديمة. وسط هذه المتاهة واللخبطة التي ألمت بالعلماء، ظهرت نظرية النسبية ونظرية "الميكانيكا الكمية".

تاريخ ميلاد الميكانيكا الكمية هو بداية القرن العشرين. لكن لماذا هذا الاسم بالذات؟ في الواقع، الاسم يعكس طبيعة الأشياء التي تتعامل معها الفيزياء الحديثة. ولماذا يشمل الاسم كلمة ميكانيكا، وليس هناك شئ ميكانيكي في النظرية الجديدة، ولا يجب أن يكون؟

كلمة ميكانيكا في اسم النظرية، ربما تأتي هنا بمدلولها العام، الذي يعني مبادئ التشغيل. مثل الآلة الميكانيكية والساعة الميكانيكية. أي التي تعمل وفقا لقوانين الميكانيكا. من ثم، الفيزياء التي تعمل بالكم، هي ميكانيكا كمية، أي تشتغل بالنظرية الكمية.

هذا مثل الذي يفسر الماء بعد الجهد بالماء. لكن لماذا إذن هي كمية؟ كلمة كمية (Quantum)، في اللغة اللاتينية، تعني كميات متقطعة. الفيزياء الحديثة تتعامل مع الكميات المتقطعة المتدفقة مثل نقط المطر وطلقات المدفع الرشاش، وليست المتصلة المنسابة مثل الماء في الأنهار.

الأكثر غرابة من ذلك، بالنسبة للفيزياء الحديثة، هو أنها تتعامل مع الطبيعة الثنائية للمادة. بمعنى أن الشئ الواحد يمكن اعتباره جسيم، ويمكن اعتباره موجة في نفس الوقت. تخيل أنك تتعامل مع شئ موجود وغير موجود في نفس الوقت.

دع كرة تتدحرج على سطح أملس أفقي. إنها ستستمر في الحركة في خط مستقيم بعد أن تتركها. مثل هذه الملاحظة أعطتنا قانون القصور الذاتي، وهو أول قوانين الحركة الثلاث لنيوتن.

الكرة على السطح الأملس لن تبدأ في الحركة إلا بعد أن تدفعها باليد، أو تضربها بكرة أخرى. الكرة الساكنة تظل ساكنة، والمتحركة، تظل متحركة على السطح الأملس في خط مستقيم، طالما لا توجد هناك قوة تغير من هذا السلوك. لكن إذا ظللت تدفع الكرة باليد، فإنها تتزايد سرعتها حسب قوة الدفع. هذا يعطينا قانون نيوتن الثاني للحركة.

أما القانون الثالث للحركة لنيوتن، فيقول أنه لكل فعل رد فعل، مساو له في المقدار ومضاد له في الاتجاه. المحرك النفاث والصواريخ تعمل وفقا لهذا القانون. قوانين نيوتن الثلاث هذه، هي التي جعلتنا نرسل إنسانا للقمر ونعيده سالما. فمن يشك في صحتها؟

هنا يترك الباحث المدقق العالم الأرضي وينظر إلى السماء، لكي يبحث عن سر حركة الأجرام السماوية، وعما يجعل الكواكب تدور حول الشمس؟ لابد أن هنالك نظام متكامل يجعل بعض القوانين تتحكم في حركة الكواكب هذه.

الكواكب تدور حول الشمس

المقلاع

حركة الكواكب حول الشمس، تشبه حركة قطعة الصخر في المقلاع حول اليد قبل إطلاقها. قطعة الصخر تدور في مسار دائري لأنها مشدودة بالحبل طول الوقت باليد. كذلك الكواكب تدور حول الشمس، لأنها مشدودة بقوى الجاذبية.

حقا لا يمكن مشاهدة قوى الجاذبية بالعين، لكنها قوى موجودة. نيوتن هو الذي اكتشف وجودها عندما شاهد التفاحة تسقط إلى أسفل وهو يتريض في البستان. عندها، سأل السؤال الذي يسأله عادة العلماء ولا ينتبه له العامة. لماذا سقطت التفاحة إلى أسفل، وليس إلى أعلى؟

عبقرية نيوتن تجلت في فهمه أن الجاذبية المستمرة بين الشمس والكواكب هي التي تجعل الكواكب تدور حول الشمس، مثل جذب الحبل المستمر في المقلاع، هو الذي يجعل قطعة الصخر تدور حول اليد. المهم هنا أن المقلاع يعمل كنموذج مصغر لحركة الكواكب.

يبقى السؤال الهام، هل من الصواب التعميم، أي أخذ القوانين التي تنطبق على ظاهرة ما وتعميمها على ظواهر متشابهة؟ نيوتن كان يعتقد بصواب ذلك. فالكون وحدة واحدة، والقوانين التي تصدق على الأرض، تصدق أيضا على الكواكب وباقي الأجرام. ما ينطبق على الأشياء الصغيرة والمتناهية في الصغر، ينطبق أيضا على الأشياء الكبيرة والمتناهية في الكبر.

لذلك واجه علماء الفيزياء أزمة كبيرة عندما قاموا بدراسة الجسيمات متناهية الصغر. فهي ترفض للانصياع للقوانين المعروفة، والتي ثبتت صحتها عندما طبقت على الأجسام الكبيرة.

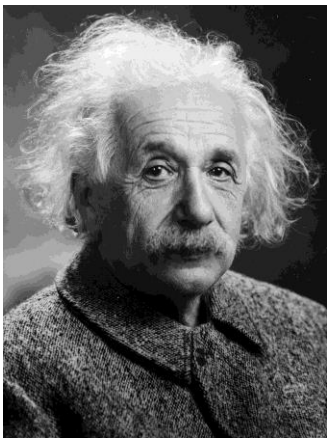
منذ نهاية القرن التاسع عشر، استخدام النماذج، المقلاع على سبيل المثال، لم يكن ناجحا طول الوقت. نموذج "الأثير" الذي تسير فيه موجات الضوء، والذي اعتقد مخترعوه أنه سيقوم بإنقاذ الفيزياء الكلاسيكية من مصيرها المحتوم، لم يكن نموذجا ناجحا. لأنه لم يستطع تفسير ثبات سرعة الضوء.

نموذج الأثير، بفرض وجوده، يقول بأنه شفاف لا يمكن تحطيمه، ومع هذا يسمح لكل الأجسام بالحركة خلاله. عندما تتحرك الأجسام بسرعة داخل الأثير، فإنه يتموج وينتج عن ذلك حركة للأثير نفسه، تشبه حركة الريح.

حاول العلماء لسنوات عديدة اثبات وجود الأثير ومعرفة خواصه بالتجارب العملية، ولكن بدون فائدة. الأثير قد بدا أنه أبعد ما يكون عن الحقيقة. ومن ثم فشل نموذج الأثير.

ماري وبيير كوري يراقبان الراديوم المشع

فشل أيضا كل نموذج كلاسيكي للذرة وضعه العلماء. فشل بطريقة أو بأخرى في تفسير سبب الأشعة الغامضة التي تنبعث من عناصر اليورانيوم والراديوم وعناصر ثقيلة أخرى. هذه الأشعة تظل تنبعث من هذه العناصر بصفة مستمرة لمدة آلاف وملايين السنين بدون مصدر خارجي للطاقة.



البرت أينشتاين

فرض أينشتاين أن الضوء عبارة عن فوتونات لها طبيعة ثنائية. أي لها خاصية الجسيمات والموجات في نفس الوقت. هذا الفرض، هو الآخر، يعتبر نسف للنموذج الكلاسيكي القديم.

نيوتن كان يعتقد بأن الضوء عبارة عن جسيمات دقيقة

تنبعث من المصدر الضوئي وتقع على العصب البصري فتسبب حاسة الابصار. هذا يفسر لنا قدرة الضوء على السير في الفضاء بدون وسط. لكننا لا نستطيع تفسير ازدواجية الضوء، بمعنى أنه جسيمات وموجات في نفس الوقت.

مع شئ قليل من الخيال، يمكننا تصور تركيبة الذرة التي تشبه تركيبة المجموعة الشمسية. وهو النموذج الذي اقترحه بور ورازرفورد. بمعنى أن الإلكترونات تدور في فراغ مطلق حول نواة في المركز. مثل دوران الكواكب حول الشمس.

بعد ذلك بسنوات قليلة، جاء بروجلي لكي يعقد الأمور أكثر مما هي معقدة ويقول، إن الإلكترون والنواة وكل المواد والأجسام بصفه عامة، لها نفس الخاصية الثنائية التي جاء بها أينشتاين بالنسبة للفوتونات الضوئية.

لم يعد من الممكن تصور النموذج الجديد للذرة. وعلينا أن نتعايش مع نموذج لا يمكن تصوره أو حتى تخيله. لكن هذه هي الطريقة التي يتطور بها العلم الحديث. وهذا يبين لنا عظمة علماء القرن العشرين.

لقد تمكنوا من شق طريقهم عبر متاهات ونماذج وتجريدات لا تنتمي للواقع والحياة المعاشة بأي صلة. ومع ذلك نجحوا في بناء نظرية جديدة لعالم الذرة متناهي الصغر.

لقد قاموا باكتشاف سر الطاقة الذرية، والجني الذي يقبع في القارورة، التي لم يحاول أو يقدر أحد على فتحها من قبل. الطاقة والمفاعلات الذرية وصناعة الأجهزة الإلكترونية والكمبيوتر وثورة المواصلات، لم تكن ممكنة بدون اكتشاف الميكانيكا الكمية.

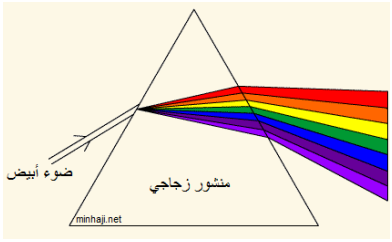
الباب الثاني

أول الغيث قطرة

في ليالي الشتاء قارسة البرد، نجلس حول المدفأة نراقب لهبها ونستمتع بدفئها ودفئ اللمة والصحبة. لكن هل فكرنا كيف ينتقل إلينا هذا الدفء، ونحن بعيدون عن لهب المدفأة؟

هذا الدفء عبارة عن أشعة غير مرئية تعطينا الشعور بالراحة من ألم البرد. نسميها الأشعة تحت الحمراء. لماذا هذا الاسم؟ لأنها تأتي أسفل الضوء الأحمر في التحليل الضوئي.

لو كان نيوتن قد وضع المنشور الزجاجي في مسار الضوء بالمعدول، كما هو مبين بالرسم، لجاءت الأشعة أعلى الضوء الأحمر وصار اسمها في هذه الحالة، فوق الحمراء. مجرد اسم.



الضوء الأبيض يتحلل داخل المنشور الثلاثي

مع شئ من الملاحظة المتأنية، سنكتشف أن الإشعاع الحراري هذا شئ عام في الطبيعة. الشمعة تعطينا الضياء والحرارة. شمسنا العظيمة تعطينا أيضا الضياء والحرارة. حتى النجوم البعيدة جدا والتي يقاس بعدها بالسنين الضوئية، هي الأخرى ترسل ضوءها مصحوبا بأشعة حرارية يمكن قياسها، إلى الأرض.

في القرن التاسع عشر، تم اكتشاف قوانين الإشعاع الحراري الأساسية. دعنا نذكر بعضها:

أولا، كلما قمنا بتسخين جسم ما، كلما زاد توهجا وتألقا. كذلك كمية الإشعاع المنبعثة من الجسم تزداد مع التغير في درجة حرارته. إذا زادت درجة حرارة الجسم ثلاثة أضعاف، مثلا، فإن كمية الإشعاع المنبعثة منه تزداد مئة ضعف. (غريبة دي)

ثانيا، لون الأشعة المنبعثة من الجسم يتغير مع ازدياد درجة حرارته. راقب قطعة من الحديد توضع على شعلة البوتاجاز. في البداية تكون قطعة الحديد داكنة اللون. ثم يصبح لونها قرمزي خفيف، يتحول إلى اللون الأحمر. مع استمرار التسخين، يصبح اللون برتقالي ثم أصفر. بعد ذلك تصبح قطعة الحديد والإشعاع المنبعث منها أبيض اللون.

الحداد يستطيع معرفة درجة حرارة قطعة الحديد المصنعة بدقة من لونها عند التسخين. عندما يكون اللون قرمزي، تكون درجة الحرارة 500 درجة مئوية، وعندما نصل إلى اللون الأبيض، تكون درجة الحرارة 1000 درجة مئوية.

علماء الفيزياء لا يكتفون بذلك. إنهم يريدون دراسة علاقة الأجسام بالإشعاع الحراري بغض النظر عن نوع الجسم ومعدنه. إنهم يريدون جسما يستخدم كقياس لهذه الظاهرة بدقة، تقارن به باقي الأجسام.

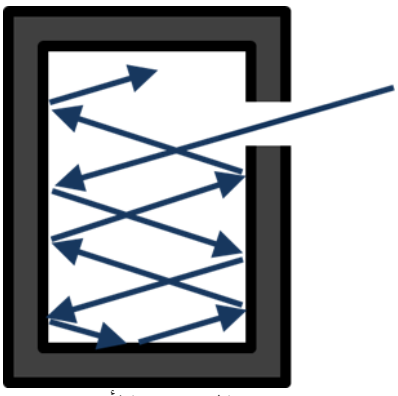
الجسم الذي نبحث عنه، لا يجب أن يرسل قبل التسخين أي ضوء خاص به، حتى لا يؤثر في لون الإشعاع الناتج من التسخين. المعادن اللامعة تعكس تقريبا معظم الضوء الساقط عليها. أما القطيفة السوداء، فهي تمتص معظم أشعة الضوء الساقط عليها، لذلك تظهر سوداء حالكة.

السحرة في عروضهم يستخدمون خاصية القطيفة السوداء، لأنها لا تعكس الضوء . فالصندوق المغطى بالقطيفة السوداء، لا تستطيع ملاحظته. الساحر يستطيع أن يستخدمه لإخفاء المنديل أو الحمام أو حتى نفسه.

وجد علماء الفيزياء أن الجسم الأسود هو ما نبحث عنه. الجسم الأسود يمتص كل الضوء الساقط عليه. إذن أي أشعة يقوم بإرسالها سيكون سببها التسخين فقط.

لكن هذا يتوقف على مقدار السواد في الجسم الأسود. حتى الفحم النباتي، قد يكون به شوائب تجعله ليس أسود تماما. قد يكون أسود أو أفتح من القطيفة السوداء. إذن كلاهما لا يصلحان لهذا الغرض.

العلماء لا ييأسون. جاءوا بصندوق خاص. مطلي من الداخل بالسخام أو الهباب الأسود. شعاع الضوء الداخل من فتحة صغيرة، لا يستطيع الخروج منها ويمتص بالطلاء الداخلي. بذلك يكون الشعاع الخارج من الفتحة، عند تسخين الصندوق، هو ناتج التسخين فقط، وليس بسبب الإنعكاسات الضوئية. هذا الصندوق نسميه الجسم الأسود.



الجسم الأسود

دعنا نكتب قوانين الإشعاع الحراري بلغة الفيزياء. القانون الأول يقول بأن كمية الإشعاع الحراري للجسم الأسود، أي الطاقة المنبعثة في صورة إشعاع وحرارة من جسم الصندوق في الثانية، تتناسب طرديا مع درجة الحرارة المطلقة مرفوعة للأس الرابع.

الأس الرابع تعني مضروبة في نفسها أربع مرات. درجة الحرارة المطلقة من اكتشاف العالمين الألمانيين، ستيفان وبولتزمان في القرن التاسع عشر، وهي درجة يعادل صفرها درجة 273 تحت الصفر المئوي.

القانون الثاني للإشعاع يقول: مع زيادة درجة حرارة الجسم الأسود، يقصر طول موجة الإشعاع المنبعث منه، وتقترب من المنطقة البنفسجية في التحليل الطيفي. هذا القانون يسمى قانون وينز للإزاحة، نسبة إلى العالم النمساوي وينز.

الآن لدينا قانونان للإشعاع يمكن تعميمها على كل الأجسام بدون استثناء. التجارب أيدت القانون الأول، ووجدنا أن الأجسام تزداد توهجا بالحرارة. لكن المشكلة في القانون الثاني.

مع ازدياد الحرارة، يظل الجسم يشع موجات حرارة وضوء، لونها في البداية قرمزي ثم أحمر ثم برتقالي ثم أصفر، ويتوقف عند اللون الأبيض ولا يقترب أبدا من اللون البنفسجي. أو كما نقول بالبلدي، قانون الإزاحة يعصلج عند اللون الأبيض ولا يتقدم قدر أنملة بعد ذلك.

للتغلب على هذه المشكلة، حاول عالمان إنجليزيان هما رايلي وجينز دمج قانوني الإشعاع في قانون واحد، يقول: شدة الإشعاع الحراري المنبعث من الجسم الساخن، تتناسب طرديا مع درجة الحرارة المطلقة، وتتناسب عكسيا مع مربع طول موجة الإشعاع. طرديا تعني كل ما تزيد يزيد، وعكسيا تعني كل ما تزيد يقل.

يبدو في البداية أن هذا القانون ينطبق مع النتائج العملية. لكن ثبت أنه صالح عندما يكون الإشعاع لونه أحمر أو أصفر أو أخضر أو أبيض، لكنه فاشل عند اللون الأزرق والبنفسجي وفوق البنفسجي. سبحان الله، أليست كلها ألوان؟

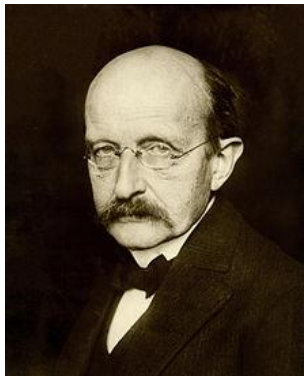
هذا القانون يعني أنه كلما صغر طول موجة الإشعاع، كلما زادت حدته وكثافته. لكن التجربة لم تثبت صحة ذلك. كما أن القانون يسمح لشدة الإشعاع أن تزداد بدون حدود، وهذا لا يحدث في الطبيعة.

هذا الوضع الذي لا يحسد عليه، سمي ب"كارثة الأشعة الفوق بنفسجية". حدث هذا في نهاية القرن التاسع عشر. لم يكن أحد يتخيل أن كارثة قانون واحد من قوانين الفيزياء، تصبح كارثة بالنسبة لعالم الفيزياء الكلاسيكية برمته، وسبب إنهياره بالكامل.

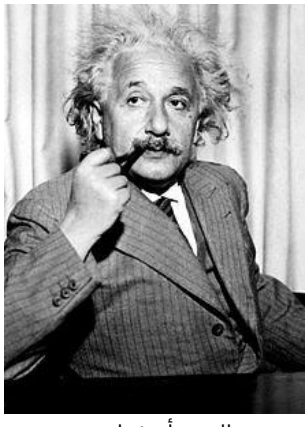
لقد وجد العلماء أنفسهم في بيت يحترق. أخذوا يجرون من ركن إلى ركن. لم يفكروا في القفز من النافذة إلى النهر. فالنهر لم يعتادوا السباحة فيه. كما أن البيت عزيز عليهم، عاشوا فيه طيلة حياتهم. حاولوا اخماد النار، ولم يتصوروا تركها والجري بعيدا عنها.

مع كارثة الإشعاع الحراري، جاءت كوارث أخرى مثل كارثة عدم وجود الأثير وازدواجية الضوء وثبوت سرعته. هنا تنبه بعض العلماء لحاجتهم إلى علم فيزياء جديد، لكي يحل محل القديم الذي لم يعد صالحا لتفسير هذه الظواهر.

إذا لم تؤيد الحقائق الجديدة النظرية، علينا أن نقوم بتعديلها، أو لتذهب النظرية إلى الجحيم غير مأسوف عليها. هذه مجرد نظرية وليست آية مقدسة أو حديث شريف. هذا هو الفرق بين العلم والدين. يخبرنا التاريخ، أن الحاجة أم الاختراع. وعظماء الرجال يُعرفون عند المصائب والأزمات.


ماكس بلانك

الخروج من مدلهمة الفيزياء الكلاسيكية، جاء على يدي ماكس بلانك، الذي أتى عام 1900م بمفهوم الكم، وألبرت أينشتاين الذي أتى عام 1905م بنظرية النسبية، وفسر لنا تأثير الضوء على أسطح المعادن. فما فعله كلاهما يستحقا عليه كل هذه الضجة؟


البرت أينشتاين

ما جاء به بلانك لا يعتبر اكتشافا بالمعنى الدقيق. كان لدينا قانونان يتعاملان مع الإشعاع الحراري للأجسام الساخنة. عندما دُمجا في قانون واحد، واجهنا كارثة الأشعة فوق البنفسجية.

بلانك كان في الأبعينات من العمر. ظل لسنوات عديدة يدرس الإشعاع الحراري. لكن نظرية الإشعاع الحراري وصلت إلى طريق مسدود، رأي انسداده أمام عينيه. وكان مثل أقرانه يبحث عن طريقة للخروج من هذه الورطة.

قام بفحص كل الخطوات المنطقية وكل التجارب والأجهزة المستخدمة، وتأكد من أنها كلها سليمة تخلوا من العيب. هنا سلك بلانك مسلكا آخر، شبيه بالقفز من النافذة هربا من النار التي تشتعل في صرح البناء، بدلا من محاولة إطفائها.

في وقت لاحق، أخبرنا بلانك أنه كان يعمل بهمة ونشاط غير عادي لم يعهده من قبل لحل هذه المشكلة في نهاية القرن التاسع عشر. وإذا بأفكار هامة بدأت تظهر له. بدت ممكنة بالرغم من غرابتها. أخذ بلانك يفحص كلا منها على حدة.

أولا، فحص الأفكار البسيطة. رالي وجينز قاما بدمج قانوني الإشعاع في قانون واحد. هذا القانون أعطانا نتائج كارثية بالنسبة للإشعاع قصير الموجة. ما الضرر في دمج هذين القانونين مع قانون وينز السابق ذكره والخاص بالإزاحة، ولكن بطريقة مختلفة. العلماء لا تيأس من البحث عن الحقيقة ولا تكف عن المحاولة.

قام بلانك بعدة تجارب للبحث عن قانون عام لا يتعارض مع النتائج. بعد عدة محاولات، وجد هذا القانون. القانون به رموز ليس لها معنى في عالم الواقع. مجرد توليفة عشوائية لكميات لا يربطها رابط. لكن الغريب، أن هذه التوليفة قد آتت أكلها، وطابقت تماما نتائج التجربة.

من قانون بلانك الجديد، استطاع اشتقاق قانون ستيفان-بولتزمان وقانون وينز. كما أن القانون الجديد لا يؤدي إلى نتائج غير محدودة وغير عملية مثل القوانين السابقة. قانون صحيح يتفق مع التجارب كما يقول العلماء.

نصر مبين، وخروج من الأزمة؟ ليس بالضبط. بلانك عالم بحق وحقيق. لم يكن مقتنعا. التخبيط على مفاتيح البيانو عشوائيا قد ينتج عنها نغمة موسيقية. ولكن هل هناك برهان على أن هذا التخبيط لابد أن ينتج عنه نغمة موسيقية؟ القانون يجب أن يكون مشتقا من شئ ما. وليس هابطا علينا من السماء عن طريق الوحي هكذا.

لكن قانون بلانك لا يمكن اشتقاقه من قوانين الفيزياء الكلاسيكية. ومع هذا، يعطينا نتائج مبهرة. لقد وجد بلانك نفسه في موقف درامي مثير. لديه قانون أو صيغة قابلة للاستخدام وتأتي بنتائج عظيمة، لكنه لا يستطيع القسم بصحتها طول الوقت وفي كل الأحوال.

لأنه ليس لديه برهان لها وفقا للفيزياء الكلاسيكية. فأي الطرق يسلك؟ طريق الحقائق الجديدة أم طريق الفيزياء الكلاسيكية المتعارف عليها. لقد اختار بلانك طريق الحقائق الجديدة.

ماذا يوجد في الفيزياء الكلاسيكية منع بلانك من اشتقاق قانونه؟ شئ بسيط لم نلتفت إليه من قبل، وهو اعتبارنا أن الطاقة مستمرة كالماء في الأنهار الجارية. لكن عالم الذرة وجسيماتها متناهية الصغر يقول عكس ذلك.

في نهاية القرن التاسع عشر، اكتشفت جسيمات الذرة والفراغ بينها. الجسيمات لها حدود، أي أنها جزر منعزلة وغير مستمرة، لكن الفراغ بينها هو فقط المستمر. حركة الجزيئات وتصادمها مع بعضها يمكن أن نطبق عليها قوانين التصادم من الفيزياء الكلاسيكية بدون مشكلة.

لكن ماذا نفعل بطاقة الإشعاع وهو موجات وليس جزيئات؟ لقد أثبت ماكسويل أن الضوء عبارة عن موجات كهرومغناطيسية، أي يتولد من تذبذب وتداخل المجالين الكهربي والمغناطيسي. إذن طاقة الضوء يجب أن تتبع قوانين الموجات وهي مستمرة تنساب مثل الماء في النهر.

نقط المطر

بالنسبة للطاقة، لا نعرف شيئا اسمه الطاقة المتقطعة. أي التي تتدفق مثل نقط المطر أو رصاص المدفع الرشاش. تركيبة الذرة لا تتطلب أن تكون الطاقة مجزأة إلى قطع صغيرة. ضوء الشمعة يملأ الغرفة بالإشعاع المتصل، والشمس ترسل لنا ضوءها الغير متقطع.

وكذلك طاقة حركة الأجسام تبدو لنا طاقات متصلة ومستمرة.

لكن أخينا العزيز بلانك، يفاجئنا بأن الطاقة ليست متصلة ومنسابة كالماء في الأنهار، بل هي متقطعة تنتقل فيما يشبه فلاشات وومضات متعاقبة، مثل نقط المطر ورصاصات المدفع الرشاش. الطاقة مقسمة إلى أجزاء أو فتافيت صغيرة، الفتفوته منها اسمها "كوانتا"، جمعها "كوانتم"، وتعني "كمية"، ومن هنا جاء الاسم "الميكانيكا الكمية".

وجود "الكوانتا" في قانون بلانك هام جدا، ولا يستقيم القانون بدونها. كوانتم الضوء، أو فتافيت الضوء، هي أجزاء صغيرة جدا من الطاقة. هنا يتحفنا بلانك بمعلومة أخرى هامة. كوانتم الطاقة هذه، تختلف وفقا لنوع الإشعاع. كلما قصر طول موجة الإشعاع، أي كلما زاد تردده واقترب نحو اللون البنفسجي، كلما زادت طاقته. الموجة القصيرة، طاقتها أكبر من الموجة الطويلة. وكلما زاد التردد، زادت الطاقة، تناسب طردي.

هذا يمكن التعبير عنه بمعادلة رياضية، وأرجو أن لا أخيف القارئ العزيز إن كان غير ملما بأسرار علم الرياضيات. يمكنه في هذه الحالة المرور على مثل هذه المعادلات مرور الكرام بدون أن يفقد الموضوع أهميته وفائدته.

$$E=hv$$

معادلة بلانك هذه بسيطة وجميلة، تقول إن طاقة الكوانتم (فتفوتة الطاقة وأصغرها) تتناسب تناسبا طرديا مع تردد الإشعاع (ν). أما المقدار (h)، فهو ثابت التناسب الطردي. تم إيجاده عن طريق التجربة، ويسمى ثابت بلانك تكريما لجهد الرجل في هذا المجال.

كان يمكن تسمية هذا الثابت بأي اسم آخر، المهم هنا ليس الاسم وإنما المقدار، وهو ثابت بالنسبة لكل الأشعة، مقداره صغير جدا، 6.6 مقسومة على 1 أمامه 27 صفر، إيرج في الثانية (وحدة الطاقة).

ما علينا سوى ضرب هذا الرقم في تردد الأشعة لمعرفة طاقتها بالإيرج في الثانية. من هنا كانت الأشعة السينية، التي لها تردد كبير، طاقتها كبيرة نسبيا تجعلها تستطيع اختراق جسم الإنسان وتصويره من الداخل.

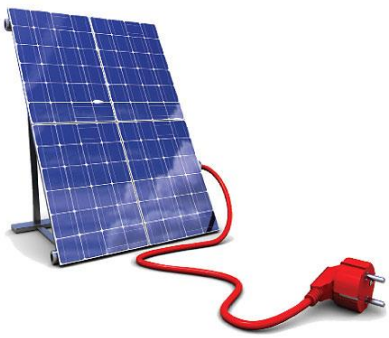
هذه الطاقة لا تأتينا متصلة، ولكن متقطعة كالمطر. مصباح كهربائي صغير قوة 25 وات، يرسل كمية كوانتم (فتافيت الطاقة) في الثانية الواحدة مقدارها 6.6 مليون مليون مليون كوانتا في الثانية.

بالطبع عين الإنسان لا تستطيع أن ترى هذه الكوانتم المتقطعة. وهذه فكرة عرض الفيلم السينمائي، الذي تبدو أحداثه متصلة، بينما هي في الواقع صور منفصلة متتالية.

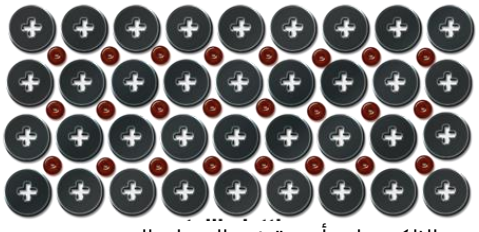
ليس المهم هنا هو كمية الكوانتم المتدفقة في الثانية، وإنما المهم هو معدل تدفقها، الواحدة بعد الأخرى.

بلانك كان يعي مدى جسارته في مهاجمة الفيزياء الكلاسيكية. لكنه لم يكن يتخيل مدي تأثير أفكاره على تطور علم الفيزياء في السنوات التي تلت اكتشافه.

السنوات الأولى، 1901، 1902، 1903، و1904م، مرت بدون أن ينتبه أحد لمدى خطورة اكتشاف بلانك. اللهم بعض الأبحاث في الموضوع نفسه تعد على الأصابع. لكن في عام 1905م، نشر موظف صغير في مكتب توثيق الاختراعات السويسري، البرت أينشتاين، رسالة



توليد الكهرباء من الشمس


الإلكترونات أسيرة في السطح المعدني

خاصة بتأثير الضوء على أسطح المعادن، نال بسببها جائزة نوبل في الفيزياء فيما بعد.

لقد كان معروفا في ذلك الوقت أن الإلكترونات تقفز من سطح المعادن عند تسليط الضوء عليها. هذه فكرة توليد الكهرباء من الشمس. لكن لم يكن أحد يعرف لماذا يحدث هذا.

الضوء عبارة عن موجات كهرومغناطيسية. من الصعب تخيل أنها قادرة على إخراج الإلكترونات من سطح المعادن. ليس هناك تصادم بين جزيئات، مثل التصادم الذي يحدث بين كرات البلياردو.

هناك أمر عجيب آخر تم اكتشافه. وهو أن بعض موجات الضوء مختلفة الطول (أي مختلفة الألوان)، هي القادرة على هذه الخاصية. الإلكترونات تبدأ في الهرب من السطح عند طول موجة ضوء معينة. لكن إذا قمنا بزيادة طول الموجة، أي تغيير لون الضوء، تتوقف الإلكترونات عن الهرب، مهما قمنا بزيادة شدة الضوء.

شعاع الضوء يحمل طاقة، هي التي تنزع الإلكترون من السطح المعدني. زيادة شدة الضوء تؤدي إلى زيادة عدد الإلكترونات التي تهرب من السطح. لكن في حالة تغير طول الموجة، يتوقف كل شئ. لماذا؟

لماذا الإلكترونات صعبة المراس في طريقة اختيار نوع طعامها؟ هذا شئ لا يفهمه علماء الفيزياء بالمرة. هنا يأتي المنقذ، سوبرمان العلوم، ألبرت أينشتاين.

البرت أينشتاين عالج المشكلة من زاوية أخرى. في الحالات العادية، الإلكترون مرتبط بذرات السطح المعدني. لكي نطرد الإلكترون من السطح، نحتاج قليلا من الطاقة. لكن الضوء له طول موجة. موجة الضوء هذه تتصرف كجسيم صغير، يحمل الطاقة وينقلها إلى الإلكترون فيجعله قادرا على الهرب من الأسر.

سبحان الله، لقد رجعنا إلى نظرية نيوتن التي تقول بأن الضوء عبارة عن جسيمات دقيقة. لكن ما مقدار طاقة هذه الجسيمات الضوئية؟ الحسابات أثبتت أنها صغيرة

جدا. إذن لماذا لا تكون مساوية ل"كوانتا" بلانك التي ذكرها منذ 5 سنوات ماضية. تخمين ذكي جدا.

لهذا، قال أينشتاين أن الضوء عبارة عن تدفق طاقة من الكوانتم. عند كل طول موجة ضوئية (لون)، تكون الكوانتم التي يحملها الضوء متساوية في المقدار تماما. هذه الكوانتم، فتافيت الطاقة، اسماها أينشتاين "فوتونات"، المفرد فوتون.

الفوتون يحمل طاقة صغيرة. يصدم بها الإلكترون بقوة مناسبة، فتنزعه من السطح المعدني. إذا لم تكن هذه الطاقة كافية، فلن يهرب الإلكترون. حسب معادلة بلانك، الطاقة يحددها تردد الموجة الضوئية. وكلما زاد طول الموجة، قل ترددها، وبالتالي قلت طاقتها. وتفشل في مهمتها.

شدة الضوء لا تهمنا هنا بقدر طول الموجة. إلكترون واحد لا يحتاج أكثر من فوتون واحد بطاقة مناسبة لكي ينزعه من السطح المعدني. هذا يفسر لنا تأثير الضوء على أسطح المعادن. لكنه تفسير، مثل أبحاث بلانك، قوضت أساسيات الفيزياء الكلاسيكية.

الباب الثالث

ما هو الضوء ومن أين يأتي؟

ما هو الضوء؟

المعضلة التي أمامنا هنا هي معرفة طبيعة الضوء. هل هو موجات أم جسيمات دقيقة؟ في عام الفيزياء، هناك من يجزم بأنه موجات، وآخرون مستعدون للحلف بأغلظ الأيمان أنه جسيمات. كل فريق له مؤيدون ودلائل وبراهين تساند وتعضد رأيه.

هذا التعارض في وجهات النظر، حدث في نفس الوقت. الأجسام تلمع عندما يسقط عليها وابل من جسيمات الضوء الدقيقة. هكذا قال العظيم إسحاق نيوتن. لا، بل الأجسام تسطع بالموجات التي يحدثها الأثير. هكذا قال هايجين العالم الهولندي.

حقا إنها معركة حامية الوطيس، استمرت أكثر من 100 سنة. يذهب النصر لأحد الفريقين، ثم يتحول لكي يؤازر الفريق الآخر، ليعود ليشد من أذر الفريق الأول.

لكن أخيرا، في بداية القرن التاسع عشر، جاءت تجارب ينج وفرينزل، وفرونهوفر لتضع حدا لهذا الجدل، ولكي تتوج النظرية الموجية للضوء بأكاليل الغار وتعلن نصرها المبين على عدوها اللدود نظرية الجسيمات.

خواص الضوء، التي تعتبر اكتشافات حديثة وقتها، التداخل والحيود والاستقطاب، تؤيد بقوة نظرية هايجين الموجية، وتتعارض مع نظرية الجسيمات لنيوتن.

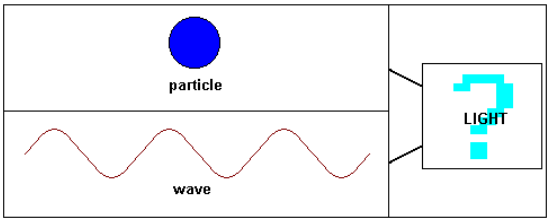
التداخل يحدث عندما تتداخل موجات مصدرين للضوء، فينتج عن ذلك حلقات ضوئية متداخلة. الحيود يحدث عندما يحيد الضوء عن مساره عند حافة الأجسام الساقط عليها. أما الاستقطاب، فيحدث عندما يوضع ساتر في مسار الضوء يجعل موجاته تسير في اتجاه معين، وتلغي الموجات التي تسير في الاتجاهات الأخرى.

ثم جاء ماكسويل بمعادلة رياضية يصف فيها سلوك موجة الضوء كموجة كهرومغناطيسية. هذا يكمل انتصار النظرية الموجية للضوء، ويغلق باب الجدل في طبيعته وكنهه.

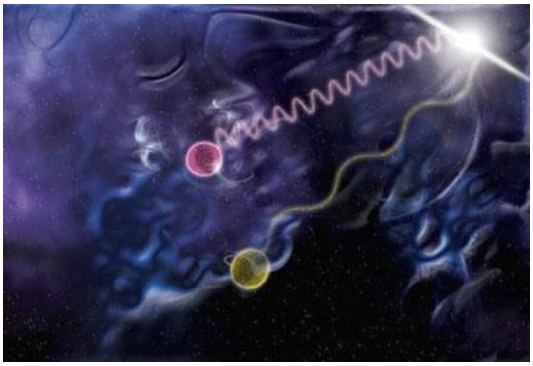
بعد ذلك بأقل من 50 سنة، بدأت نظرية الضوء كجسيمات تطفو على السطح من جديد. تأثير الضوء على أسطح المعادن (التأثير الكهروضوئي)، الذي يجعل الإلكترونات تهرب من السطح، لا يمكن تفسيره بالنظرية الموجية للضوء.

بدأ الجدل يظهر من جديد. هل الضوء موجات أم جسيمات؟ لكن الجدل هذه المرة جاء بطريقة مختلفة. الجدل هنا لم يكن يبغي انتصار فريق على الآخر، ولكن كان بهدف فهم إيه الحكاية بالضبط. وكان كل فريق مستعدا للتنازل عن جزء من كبريائه في سبيل إيجاد حل وسط يرضي الجميع.

بدلا من هذا الشجار العقيم واللكم والركل ونتف اللحى، ما رأيكم في حل وسط، يأخذ بالرأيين معا، يعتبر الضوء موجات وجسيمات في نفس الوقت؟



How to imagine the wave-particle duality.



الضوء موجات أم جسيمات؟

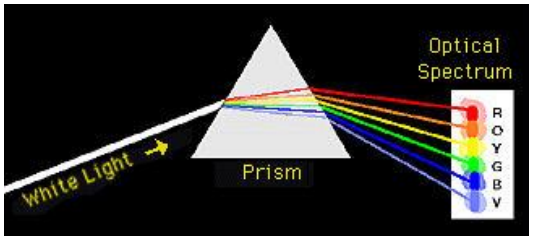
لكن لماذا يبخل علينا الضوء بالكشف عن هويته بالضبط؟ هو تارة يظهر لنا كجسيمات ابن جسيمات، وتارة أخرى يتخفي في زي موجات بنت موجات؟

السؤال الثاني لا يقل أهمية، جاء مع نظرية أينشتاين الكهروضوئية، وهو: لماذا لا يخضع الإلكترون في السطح المعدني لتأثير كل ألوان الضوء، ويرفض مغادرة السطح إلا عند ألوان معينة؟

الإلكترونات الحرة الطليقة، تتأثر بكل أطياف الضوء. فقط المحبوسة في السطح المعدني، هي التي تهرب من الأسر عند ألوان معينة دون غيرها.

نيلز بور

في الوقت نفسه، حاول عالم فيزياء دنماركي، نيلز بور، تطبيق المفهوم الجديد للطاقة الكمية على التحليل الطيفي. مئات الرسائل العلمية حتى الآن، كانت قد عالجت ظاهرة التحليل الطيفي. وبدأ استخدامه بكثرة في أبحاث الكيمياء والفلك وفي فحص المعادن وغير ذلك من الاستخدامات.

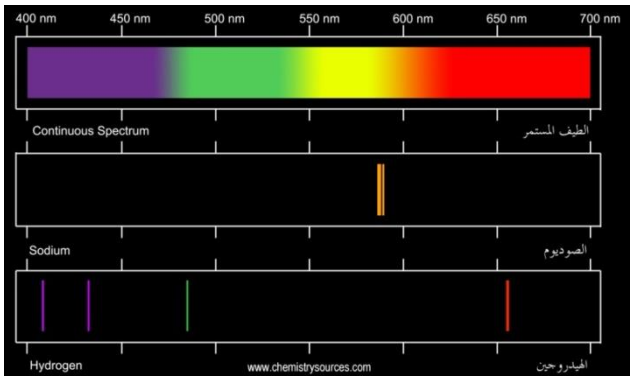


ألوان الطيف السبعة

الفضل يرجع في اكتشاف ألوان الطيف إلى العبقري الجهبذ اسحق نيوتن، عندما وضع منشورا زجاجيا في مسار أشعة الشمس، تحلل ضوؤها إلى سبعة ألوان مرئية هي: أحمر، برتقالي، أصفر، أخضر، أزرق، نيلي، بنفسجي. الأشعة غير المرئية، تحت الحمراء وفوق البنفسجية، تقع أسفل الحمراء وفوق البنفسجية.

في عام 1859، قام عالم الكيمياء الألماني البارز، بينزن، بتكرار تجربة نيوتن الخاصة، التي وضع فيها منشورا زجاجيا في مسار أشعة الشمس للحصول على ألوان الطيف. لكنه هنا استبدل أشعة الشمس بخرقة قماش مشتعلة بعد أن غمسها في محلول مشبع بملح الطعام (كلوريد الصوديوم).

لم ير بينزن في تجربته أي أثر لألوان الطيف السبعة، ولكن رأي أمامه خط ضوئي أصفر واحد ساطع. بعد استشارة عالم ألماني مشهور في الأمر اسمه كيرشوف، قررا أن المنشور الزجاجي يقوم بترتيب الضوء المباشر الساقط عليه وفقا لطول الموجة التي يتكون منها.



التحليل الضوئي للعناصر

عندما تذهب إلى المطبخ، حاول إلقاء بعض حبات ملح الطعام على لهب البوتاجاز، وراقب تغير لون اللهب إلى اللون الأصفر.

ألوان الطيف المرئية الخاصة بأشعة الشمس السبعة، سببها وجود سبع موجات ضوئية مختلفة لأشعة الشمس. الخط الأصفر الذي ظهر في تجربة بينزن، يخبرنا أننا أمام موجة ضوئية واحدة فقط.

لكن ملح الطعام، اسمه الكيميائي كلوريد الصوديوم، مكون من إتحاد ذرتي الصوديوم والكلور. هذا الخط الأصفر يخص أيهما، الصوديوم أم الكلور؟ إجابة هذا السؤال سهلة للغاية.

ما علينا سوى إجراء التجربة مع استبدال ملح الطعام بمحلول كيميائي آخر يوجد به الكلور ولا يوجد به الصوديوم مثل كلوريد الهيدروجين. في هذه الحالة، اختفي الخط الأصفر تماما. هذا يعني أنه يمثل عنصر الصوديوم.

لقد وجد فيما بعد أن كل عنصر كيميائي له بصمته الفريدة التي تبين شخصيته بدون شك والتي تظهر بالتحليل الطيفي على شكل خط أو مجموعة خطوط لها نمط معين.

بعضها بسيط عبارة عن خط واحد واضح مثل الصوديوم، وبعضها معقد النمط والترتيب، يحتاج إلى خبرة للتعرف عليه. لكنها كلها تشترك في شيء واحد، وهو كونها فريدة، تمثل العنصر الكيميائي وحده. مثل الصورة الفوتوغرافية التي تمثل الشخص بعينه.

إذا أردنا معرفة تركيبة قطعة من الصخور، نقوم بطحنها وإذابتها في محلول نغمس فيه خرقة من القماش. عندما تجف، نشعل فيها النار، ونقوم بتحليل ضوئها وفحص خطوط طيفه. بالطبع هذه طريقة بدائية لكنها تؤدي الغرض بنجاح، وأسهل من الفحص باستخدام المحاليل الكيميائية. الطرق الحديثة أكثر دقة وتقنية.

التحليل الطيفي يستخدم في الفلك أيضا لمعرفة حالة كل نجم وعمره والعناصر المكونه له. كما يستخدم لدراسة ما يحدث في قرص الشمس والأفران الصناعية والغازات المتأينة (البلازما)، وكذلك لفحص التربة والصخور، وحديثا مع تطور التكنولوجيا، يستخدم في حل ألغاز الجرائم الجنائية المستعصية.

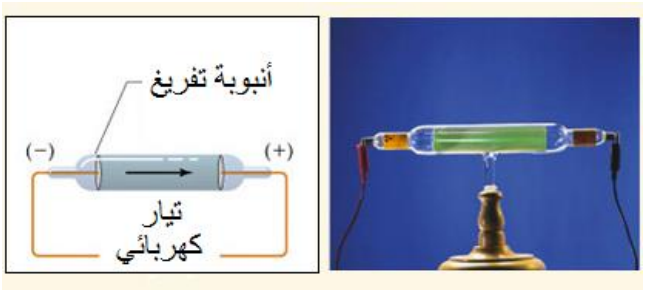
نجاح وفائدة التحليل الطيفي للعناصر شيء هائل ليس له حدود. لكنه صرح بني على أساسيات نظرية الإشعاع الكلاسيكية التي ثبت فشلها في تفسير ظواهر جديدة في عالم الفيزياء.

توهج الفتيل بالكهرباء

نقطة الضعف هنا هي، لماذا تبدأ الأجسام في إشعاع الضوء عند التسخين؟ عندما نقوم بتسخين فتيل المصباح، عن طريق التيار الكهربي، يتوهج الفتيل ويبدأ في إرسال الضوء الساطع. من أين يأتي هذا الضوء، وأين كان يختبئ؟

الفيزياء الكلاسيكية تقول بأن التيار الكهربي يجعل ذرات وجزيئات الفتيل تتحرك بسرعة، فيحدث تصادم بينها. ومع زيادة التصادم تبدأ في إشعاع الضوء. لكن، لماذا لا يتوهج الفتيل أو الأجسام في درجة حرارة الغرفة العادية، حيث جزيئات المادة تظل في حركة دائمة؟ لا إجابة على هذا السؤال تأتينا من الفيزياء الكلاسيكية.

لدراسة الكهرباء في الفراغ، أي بمعزل عن الهواء، قام العلماء بتصنيع أنبوبة زجاجية مفرغة من الهواء لها قطبان معدنيان، في بدايتها ونهايتها. ثم قاموا بتوصيل القطب الأول بسلك معدني بالقطب الموجب لبطارية سائلة مثل البطريات التي تستخدم في السيارات. وقاموا بتوصيل قطب الأنبوبة الأخرى بالقطب السالب للبطارية. فماذا حدث؟



أنبوبة أشعة الكاثود

القطب السالب للأنبوبة بدأ يتوهج ويشع ضوءا غريبا لونه أخضر، لا أحد يعرف عنه أي شيء. القطب السالب تم تسميته "كاثود" والقطب الموجب "أنود". والأشعة أصبح اسمها أشعة الكاثود، والأنبوبة أطلق عليها أنبوبة أشعة الكاثود أو (CRT).

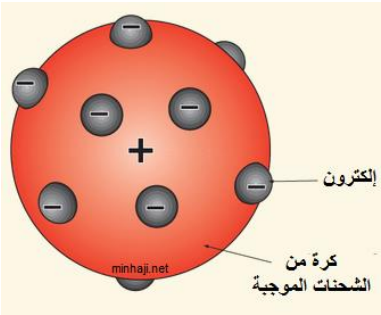
شاشات التليفزيونات القديمة والكمبيوترات كلها عبارة عن أنابيب أشعة كاثود (CRT). الشاشات الجديدة المفلطحة مثل البلازما وال(LCD) أو (LED)، تعتمد على تكنولوجيا مختلفة، لكنها ليست غريبة على فكرة ال (CRT).

السير جي جي طومسون

في عام 1897 في جامعة كامبرج بإنجلترا، قام جي جي طومسون بعمل تجربة لمعرفة كنه الأشعة الغريبة الخضراء هذه. طومسون كان لديه 20 باحثا تحت إشرافه، يعملون فقط لمعرفة طبيعة الأشعة الخضراء هذه.

لقد وجدوا أن هذه الأشعة لها شحنة سالبة. قام طومسون بقياس مقدار شحنتها وكتلتها واسماها إلكترونات. قياساته دلت على أن كتلة الإلكترون أصغر ألفين مرة من كتلة ذرة الهيدروجين.

ماذا يعني هذا؟ يعني أن الذرة ليست هي أصغر جزيئات المادة كما قال دالتون في بداية القرن. ربما تكون الذرة مكونة من إلكترونات؟ لكن الإلكترونات لها شحنة سالبة، والذرة متعادلة الشحنة. متعادلة الشحنة تعني لا هي موجبة ولا هي سالبة.

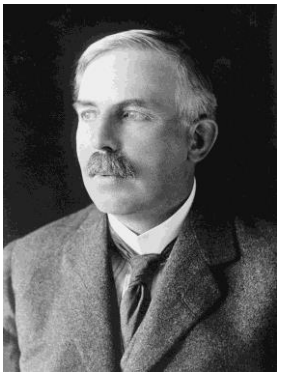


نموذج طومسون لتركيبة الذرة

طومسون يحتاج إلى شيء آخر داخل الذرة لكي يعادل شحنة الإلكترون السالبة. لذلك اقترح أن الذرة قد تكون في شكل كرة صلبة من المادة، لها شحنة

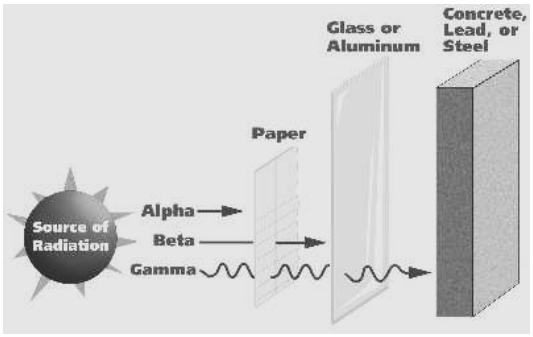
موجبة ومطعمة بإلكترونات سالبة داخلها. بذلك تصبح الذرة متعادلة الشحنة الكهربية.

هذا كلام نظري يحتاج إلى دليل عملي. لكن الذرة صغيرة جدا لا يمكن رؤيتها. وبحث مكوناتها يحتاج إلى أسلوب آخر غير النظر في الميكرسكوب.



إيرنست راذرفورد

أحد تلاميذ طومسون اسمه إيرنست راذرفورد. وجد راذرفورد أن أشعة الراديو، التي تنبعث من المواد المشعة، والتي اكتشفها العلماء الفرنسيون، هي عبارة عن نوعين.

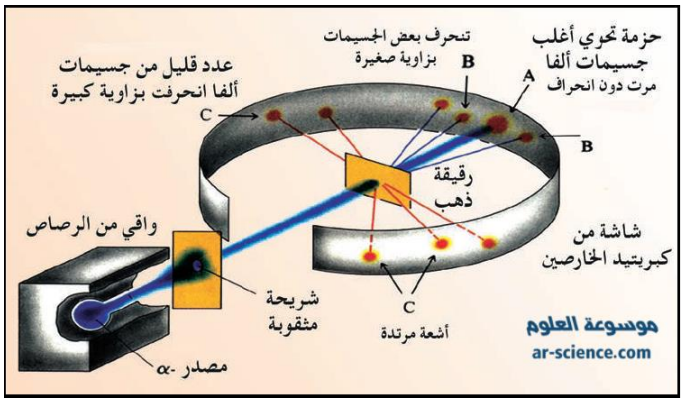


قدرة الاختراق لأشعة ألفا وبيتا وجاما

أحد الأشعة يمكن وقفها باستخدام شريحة رقيقة من الألومينيوم اسماها راذرفورد "أشعة ألفا"، لها شحنة موجبة. أما النوع الآخر من الأشعة، فتحتاج إلى عدة رقائق من الألومينيوم لوقفها، اسماها "أشعة بيتا"، لها شحنة سالبة. فيما بعد، تم اكتشاف أشعة ثالثة اسمها "أشعة جاما" متعادلة الشحنة، لكن لها قدرة على الاختراق كبيرة، لذلك تعتبر خطرة إذا تعرض لها جسم الانسان.

كيف نبحث مكونات الذرة بدون استخدام الميكرسكوب الضوئي؟ نفترض أننا داخل غرفة مظلمة ونريد أن نعرف أين الحائط وأين الباب والمفروشات وخلافه. معنا فقط كرات مشعة.

سوف نقوم بإلقاء الكرات المشعة داخل الغرفة. من دراسة مساراتها، نستطيع أن نعرف أبعاد الغرفة وطبيعة مفروشاتها. هذا ما فعلة راذرفورد. فقد قام باستخدام أشعة ألفا الموجبة الشحنة كقذائف على رقائق من الذهب. وقام بدراسة سلوكها عندما تصطدم بهذه الرقائق.



تجربة راذرفورد لمعرفة تركيب الذرة

أشعة ألفا كانت تعمل مثل طلقات المسدس على رقائق الذهب. فكانت تنفذ خلالها وتنعكس في اتجاهات مختلفة. قام راذرفور بدراسة مسارات أشعة ألفها بعد تصادمها برقائق الذهب، فوجدها تسلك سلوكا لا يمكن تفسيره، إلا إذا قمنا بإعادة تصميم نموذج جديد للذرة.

لذلك اقترح راذرفورد بأن الذرة، لا بد أن يكون لها نواة في المركز صغيرة جدا، لها شحنة موجبة، وتحتوي على معظم كتلة الذرة.

نموذج راذرفورد لذرة الهيدروجين

نشر راذرفورد أبحاثه عام 1911. قال فيها إنه يقترح تصميم جديد للذرة. عبارة عن نواه موجبة الشحنة تحتوى على 99.9 في المائة من كتلة الذرة. الباقي عبارة عن إلكترونات تدور حول النواة، لها شحنة سالبة تعادل شحنة النواة. يعني النموذج الجديد للذرة يشبه نموذج المجموعة الشمسية. الشمس في المركز والكواكب تدور حولها.

قال راذرفورد أيضا إن الذرة صغيرة جدا، إلى درجة أن حبة ملح الطعام الصغيرة الواحدة، بها بليون بليون (كونتيليون) ذرة صوديوم ومثل هذا العدد من ذرات الكلور.

رغم صغر حجم الذرة الواحدة، معظم هذا الحجم عبارة عن فراغ في فراغ. إذا كانت الذرة في حجم استاد كرة قدم مثلا، فإن النواة تكون في المركز في حجم حبة البازلاء.

الإكترونات مثل حبات الغبار، تدور كلها حول جدران الاستاد الخارجية. باقي الذرة فراغ في فراغ. (التركيب الحديث للذرة يختلف عن ذلك بعض الشيء. فالإكترون أصبح عبارة عن سحابة من الطاقة تغلف النواة).

حسب الفيزياء الكلاسيكية، الجزيئات المشحونة بالكهرباء، عندما تتباطأ سرعتها، تشع موجات كهرومغناطيسية (ضوء). هذا يفسر لنا حكاية المصباح الكهربي. الإلكترونات السريعة التي تسير في فتيلة المصباح، تواجه مقاومة من الشحنة الكهربية الموجبة في أنوية ذرات الفتيلة، فتقوم بتقليل سرعتها. (الأجسام المشحونة، أثناء الفرملة، تشع ضوء.)

قد يكون هذا تفسيرا مقنعا، يبين كيف يأتينا الضوء من المصباح الكهربي. لكن لدينا مشكلة. الإلكترون الذي تتباطأ سرعته ويفقد شحنته يسقط فورا في نوات

الذرة كالزبيب في طبق المهلبية. عندها تتوقف الذرة عن الوجود. لكن هذا لا يحدث في الطبيعة. لا بد أنه هناك شيء خاطئ لا ندري ما هو.

لا بد من وجود قوة تمنع الإلكترون من السقوط في النواة. هذه القوة، يجب أن تعمل طول الوقت. هذه القوة هي القوة الطاردة المركزية. الحسابات الأولية بينت أن الإلكترون عليه أن يدور بسرعة معينة حول النواة حتى لا يقع فيها. مثل دوران الكواكب حول الشمس. إن كفت الكواكب عن السير بسرعة حول الشمس، بلعتها الشمس في الحال. هذا هو نموذج راذرفورد الجديد للذرة.

لكن الفيزياء الكلاسيكية تقول إن حركة الإلكترونات المشحونة حول النواة بسرعة، ينتج عنها إشعاع كهرومغناطيسي. وعندما يشع الإلكترون، يستهلك طاقته. ينتج عن ذلك، أن يبطئ من حركته في جزء من مليون جزء من الثانية، ويقع في النواة. عندها تتوقف الذرة عن الوجود. هذا لا يحدث في الطبيعة.

مرة أخرى الفيزياء الكلاسيكية تقودنا إلى حارة سد. لا يمكنها تفسير ما يجري في عالم الذرة. طيف عنصر الصوديوم الذي يظهر كخط أحادي واحد، إذا كان سببه فقد الإلكترون لطاقته، لماذا لا يعطينا طيفه كل الألوان مثل أشعة الشمس. وما يجعله يكتفي بطول موجة واحدة، وهي موجة الخط الأصفر؟

تيقن بور من وجود شيء خطأ. لكن ما هو؟ هل هو نموذج راذرفور؟ لا يجب التسرع بالقول بذلك. كان راذرفورد، أستاذ بور، يرى هو أيضا وجود شيء خطأ.

لكن دعنا نعدل في نموذج راذرفور بدلا من رفضه كلية. بحيث يظل يدور الإلكترون حول نواة الذرة بدون أن يقع في نواتها.

نحن الآن في عام 1912. علماء الفيزياء في نشوة طاغية بسبب أبحاث بلانك في طاقة الكوانتا، وأبحاث أينشتاين بالنسبة للفوتونات ونظريتي النسبية الخاصة والعامة. هذا شجع علماء الفيزياء الشبان وجعلهم أكثر جسارة وإقداما في عرض أفكارهم الجديدة. إذا كان كل من بلانك وأينشتاين مجنونين، فنحن أجن منهما. الجنون هو الموضة هذه الأيام.

تساءل بور، لماذا وجب على الإلكترون السالب الشحنة والذي يدور حول النواة أن يشع الضوء؟ هل من الممكن أن يدور حول النواة بدون أن يشع ضوءا أو يفقد شيئا من طاقته؟

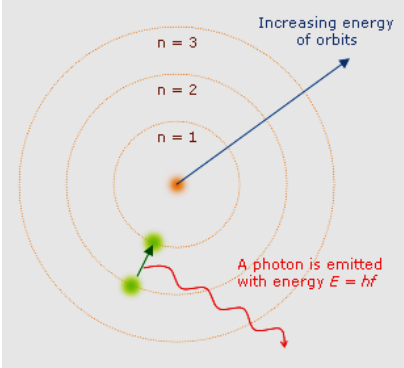
دعنا نفترض أن الإلكترون يسير في مدار ثابت حول النواة بدون أن يشع ضوءا. إذا توقف عن إشعاع الضوء، يستطيع أن يبقى كذلك إلى الأبد.

لكن الفيزياء الكلاسيكية لا يمكنها تفسير ذلك. بالإضافة إلى أن فكرة بور الجديدة، عبارة عن كلام مرسل لا يأخذ به القاضي كدليل في أي قضية. لم تأت أو تشتق فكرة بور من أي نظرية أو قانون سابق. الأدهي أن بور نفسه لم يستطع برهان ذلك. لذلك اسماها قضية بديهية مسلم بها. القضايا البديهية نقبلها بدون برهان. البرهان جاء بعد ذلك بعشر سنوات على غير المتوقع.

تقول إن الإلكترون يدور حول النواة في مدار ثابت دون أن يفقد شيئا من طاقته! فكم مدار إذن حول النواة، يمكن للإلكترون أن يعيش فيه دون أن يفقد طاقته؟ حسابات بور بينت أن العدد كبير.

المهم هنا هو بعد المدار عن النواة. كلما اقترب المدار من النواة، زادت سرعته حتى يستطيع التغلب على جذب النواة له. والعكس صحيح. طالما بقى الإلكترون في مداره، بقى سالما وظل يدور فيه بدون أن يسقط في النواة.

هنا جاء بور ببديهيته الثانية. عندما يقفز الإلكترون من مدار إلى مدار آخر أقل طاقة، فأين تذهب طاقة الإلكترون الزائدة عن حاجة المدار؟ الطاقة لا تختفي فجأة هكذا مثل الثوار المناهضين للحكومة. الطاقة الزائدة عن الحاجة، يتخلص منها الإلكترون في صورة كوانتا. لها نفس طاقة كوانتا بلانك وطاقة فوتون أينشتاين. سبحان الله، هي الكوانتا ورانا ورانا؟



نموذج بور للذرة

الإلكترون الذي يشع ضوءا، هو في الواقع يشع فوتونات، ويأخذ مدارا جديدا يستقر فيه ويصبح مستقرا بطاقته الأقل من طاقته السابقة. أنا مرتاح هنا. عندما يكتسب الإلكترون طاقة زائدة، يقفز من مداره إلى مدار يتطلب طاقة أكبر. مثل الموظف الذي يأخذ علاوة، ينتقل إلى شقة أوسع. كلما قفز الإلكترون من مداره إلى مدار أقل طاقة، تولدت فوتونات جديدة، وأعطانا خطا في التحليل الطيفي.

لقد شرح لنا بور كيف تستطيع الذرة أن تولد ضوءا. لكن السؤال هنا، لماذا بالتسخين وليس في درجة حرارة الغرفة العادية؟ نحن هنا، في هذه الدراسة، لن نكف عن التساؤل.

هذه أيضا هي شغلة العلماء والفلاسفة. أما رجال الدين، فهم يا ولداه مرتاحين كده آخر راحة. التساؤل عندهم كفر والعياذ بالله. يسجنوك أو يموتوك لو حاولت إخراجهم من حالة الرحرحة أو النرفانا اللي عايشينها.

لقد كان الاعتقاد في البداية أن المدار القريب من النواة، طاقة الإلكترون عنده أكبر من طاقة الإلكترون البعيد. لكن تبين أن هذا خطأ. مدارات الإلكترونات حول النواة تشبه صفوف مقاعد المسرح الروماني.

المسرح الروماني بالاسكندرية

كلما اقترب الصف من المركز، أي مكان العرض، صغر طول الصف وقلت الطاقة به. الصف العالي في آخر الصفوف هو أطولها وأكثرها طاقة، والصف القريب من الأرض هو أقلها طاقة.

كذلك الإلكترون، عندما يقفز من مداره إلى مدار قريب من النواة، يفقد جزءا من طاقته في هيئة فوتونات. ولكي ينتقل إلى مدار أبعد من النواة، يحتاج إلى طاقة زيادة يمتصها من التسخين على سبيل المثال.

عندما يكون الإلكترون في المدار الأول القريب من النواة، لا يوجد أمامه مدار آخر أقل طاقة يمكن أن يسقط فيه. مثل الجالس على الحصيرة، لا يستطيع الوقوع من فوقها.

المكان الوحيد الذي يمكنه أن يسقط فيه هو النواة. وهذا غير ممكن لأنه يقضي على وجود الذرة كلية. طاقة الإلكترون أقل ما يمكن في هذا الوضع. ليس لديه شيء يمكن أن يفقده. فقير دقة كما نقول بالبلدي. لذلك لا يستطيع أن يشع ضوءا.

هناك عدة طرق لحصول الإلكترون على طاقة. أحدها طاقة التصادم. الذرات تتصادم مع بعضها البعض لأنها لا تكف عن الحركة، في الغازات أو السوائل أو حتى الأجسام الصلبة.

الكون كله في حركة مستمرة. في درجة حرارة الغرفة العادية، الطاقة المتولدة من التصادم تكون غير كافية لجعل الإلكترون يقفز ويعطينا الضوء. لكن عندما تصل حرارة التسخين مئات أو آلاف الدرجات المئوية، تقفز الإلكترونات بكل سرور إلى مدارات خارجية، وعند عودتها إلى مدارها الأصلي، تعطينا ما نريده من ضياء.

عندما ينتقل الإلكترون إلى مدار خارجي بعيد عن النواة، فماذا يحدث له؟ النواة هنا تعمل مثل الأم التي لا تريد ابنها أن يلعب طول النهار بعيدا عنها. تجذبه، أو تستدعيه أو تنادي عليه، لكي يعود إلى مكانه الطبيعي.

فيقوم الإلكترون بالعودة عن طريق التخلص من الطاقة الزائدة في صورة فوتونات، تجعل الجسم يتوهج ويتلألأ ويشع الضياء.

الآن الجسم متوهج بالحرارة يشع الضياء، فماذا يحدث عندما تزداد درجة الحرارة. يزداد تصادم الذرات، فتزداد كمية الفوتونات المنبعثة، ويزداد طول قفزات

الإلكترونات وتصل إلى معظم المدارات المتاحة. المدار البعيد يعطينا فوتونات ذات طاقة عالية، أي موجات قصيرة. والمدار القريب يعطينا موجات طويلة.

بعد هذا النصر المبين، بات نجاح النظرية الكمية للضوء باديا للعيان، لا ينكره إلا مكابر. وفي زمن قصير اعترف بنظرية بور معظم علماء الفيزياء. السنوات العشر التالية، كانت تمثل تطورا عظيما لنظرية بور.

لكن نظرية بور بدأت تواجه الكثير من الصعاب. لم تعد قادرة على تفسير حقائق جديدة. نعرف أن الخطوط في التحليل الطيفي يمكن أن تعطينا طول الموجة (اللون) وشدة استضاءتها.

من نظرية بور، يمكننا معرفة المسافة بين مدارين عن طريق تحليل خطوط الطيف. لكن لا يمكننا معرفة كمية الفوتونات المنبعثة. الميكانيكا الكمية تستطيع شرح جوهر خطوط الطيف، لكنها لا تستطيع حساب شدة استضاءتها بالضبط. كحل لهذه المشكل، اقترح بور استخدام الميكانيكا الكلاسيكية القديمة بجانب نظرية الكم الجديدة.

لكن النظرية القديمة تقول بأن الإلكترون المشحون بشحنة سالبة عندما يدور حول النواة، يفقد طاقته ويسقط فيها، ويرسل لنا طيفا متصلا خاليا من الخطوط. أما النظرية الجديدة فتقول، بأن الإلكترون يشع طيفا متقطعا به خطوط لامعة. فكيف نستخدم كلا النظريتين؟

النظرية مثل الدولة. عندما تحتاج مساعدة من الخارج، تكون دولة أو نظرية ضعيفة. بور رفض النظرة الكاسيكية لحركة الإلكترونات. لكنه كان مقتنعا بأن الإلكترونات تدور حول النواة فيما يشبه دوران الأرض حول الشمس.

بور منع الإلكترون من إرسال أي ضوء وهو في مداره الأصلي، لكنه لم يفسر لنا لماذا. بور أعطانا تفسيرا جيدا وصحيحا لمصدر الفوتونات المتولدة من الذرة، لكن تفسيره لم يشتق بخطوات منطقية من نظريته. حقائق جديدة بدأت تظهر لا تستقيم مع نظرية بور.

لكن نظرية بور تعتبر خطوة هائلة جبارة في فهم عالم الذرة الملئ بالأسرار. نظرية بور رغم قصورها، شرحت لنا أشياء لا يمكن شرحها أو فهمها بالفيزياء الكلاسيكية.

لقد حان الوقت لفكر جديد وخطوات جديدة في عالم الفيزياء. باب الاجتهاد لم يقفل بعد. وسرعان ما جاء المدد والعون تباعا. أول طوق نجاة رمى به عالم الفيزياء الفرنسي الشاب الموهوب بروجلي.

الباب الرابع

الطبيعة الموجية للمادة

لويس دي بروجلي

في عدد سبتمبر/أيلول عام 1924، نُشر مقال في مجلة الفلسفة، الطبعة الانجليزية، لعالم فيزياء شاب فرنسي مغمور، من عائلة عريقة، اسمه لويس بروجلي(برولي) (1892-1987). يشرح فيه النقاط الأساسية لأطروحته الخاصة بإمكانية وجود خاصية موجية للمادة. قام بروجلي بأبحاث أخرى غيرت نظرتنا إلى الفيزياء الكلاسيكية.

لقد طوّر دي بروجلي فكرة أينشتاين عن الطبيعة المزدوجة للضوء، التي تقول: إن الضوء موجات وجسيمات، وجاء بأن المادة هي أيضا موجات وجسيمات في نفس الوقت.

كل الأجسام، بما في ذلك أنا وأنت والكرة الأرضية والشمس، لها موجة مرافقة لها. فهل هذه هي الروح التي نتحدث عنها؟

فكرة أينشتاين عن الضوء يجب أن تعمم على كل شيء. هذا يعني أن الإلكترون، برغم كونه مادة من جسيمات الذرة، هو أيضا موجة في نفس الوقت. طبعا العلوم تحتاج إلى دليل على هذا الطرح. كلام دي بروجلي كان مدعما بمعادلات رياضية تحسب طول موجة الإلكترون المرافقة له.

البروفيسور لانجفين المشرف على رسالة الدكتوراه لـ دي بروجلي، لم يكن يدري ماذا يفعل أمام هذه الأفكار الثورية في عالم الفيزياء، التي يأتي بها الشباب. لم يكن متأكدا من منح بروجلي الدكتوراه على أساس فكرة قد تكون خاطئة. فأرسل نسخة من الرسالة إلى أينشتاين يطلب رأيه. جاء الرد من أينشتاين: "رسالة عظيمة جدا". حصل بروجلي على الدكتوراه بسبب فكرته هذه.

موجة مادية؟ يا إلهي! هل تعني شيئا مثل أمواج البحر أو الصوت أو الضوء، فكلها أمواج تدركها الحواس؟

لا يا محترم. دي بروجلي، أو دي برولي إن شئت، يعني موجات من نوع مختلف تماما. فكرة دي بروجلي فكرة غير تقليدية بامتياز. تستطيع أن تنافس بجدارة في غرابتها وجنونها فكرة بلانك الخاصة بطاقة الكوانتا أو فكرة أينشتاين عن طاقة الفوتون، اللتين جاءتا منذ ربع قرن تقريبا. فكرة دي بروجلي قوبلت بعدم تصديق كامل من معظم العلماء.

لكن، ماهي هذه الموجة التي يتحدث عنها دي بروجلي؟ قبل الإجابة على هذا السؤال، دعنا نفحص حكاية الموجة العادية.

ألق بحجر في بركة ماء، ثم راقب الموجات على السطح وهي تتحرك. في الواقع، سطح الماء هو المكان الوحيد الذي يمكننا من رؤية مثل هذه الأمواج

وهي تتحرك بالعين المجردة.

قد يبدو أن الماء نفسه هو الذي يتحرك حاملا الموجة. لكن ليس هذا هو الأمر. حاول أن تلقي حجرا خلف جسم طاف لكي تجعل الموجات تحركه نحوك. ستفاجأ بأن الجسم الطافي يهتز إلى أعلى وإلى أسفل، لكن الموجة تمر من تحته مرور الكرام.

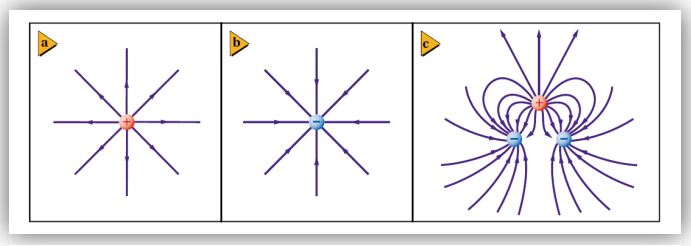
في القرن التاسع عشر، أدرك العلماء أن الصوت عبارة عن موجات حركة. موجات الصوت تتذبذب وتنتقل في الهواء، في الماء، وفي الأجسام الصلبة. فما الذي يتذبذب في موجات الصوت؟

الذي يتذبذب هو جزيئات الوسط الذي يسير فيه الصوت. جزيئات الهواء والماء وذرات الأجسام الصلبة. عندما كنا أطفالا، كنا نضع آذاننا على قضبان السكة الحديد لكي نعرف مبكرا قرب وصول القطار. طبعا من وراء الأهل والأقارب.

عندما يغيب الوسط، الهواء والماء والمادة بصفة عامة، يختفي الصوت بدون أثر. الصوت بصريح العبارة لا يسير في الفراغ. رجل الفضاء على سطح القمر، لا يسمع صوت انطلاق الصاروخ. الصمت التام بسبب عدم وجود غلاف جوي للقمر.

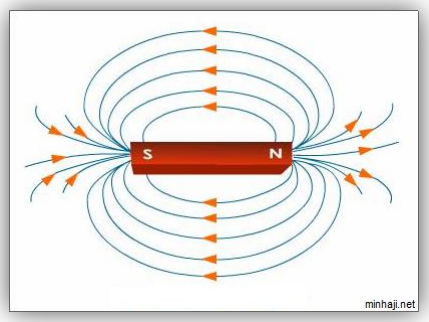
علماء القرن التاسع عشر، عرفوا طبيعة الموجات الكهرومغناطيسية. فما هي هذه الموجات الكهرومغناطيسية؟

كل جسم مشحون بشحنة كهربائية، يخلق حوله مجالا كهربائيا. داخل هذا المجال، إذا وضعت شحنة أخرى، فإنها تنجذب أو تتنافر مع الشحنة الأصلية. الشحنات المتماثلة تتنافر، والمختلفة تتجاذب.



خطوط المجال الكهربي للشحنة الموجبة والشحنة السالبة

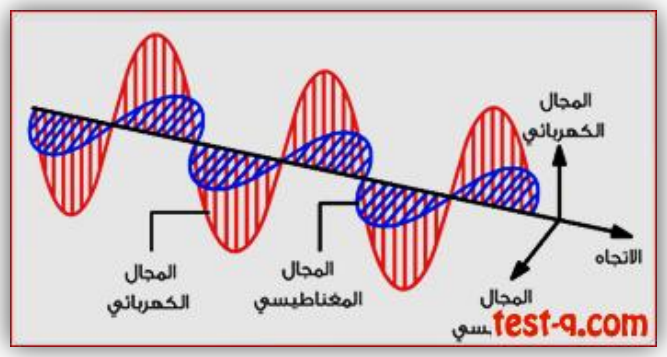
المغناطيس يجذب برادة الحديد والمسامير. له أيضا مجال حوله على هيئة أقواس وخطوط تخرج من القطب الشمالي للمغناطيس وتذهب إلى القطب الجنوبي له. يمكن رؤية شكل هذا المجال بوضع ورقة فوق المغناطيس ونثر برادة الحديد فوقها.



خطوط المجال المغناطيسي

وجد أنه إذا تحرك مغناطيس فوق أو تحت سلك معدني، فأثناء الحركة يتولد في السلك تيار كهربائي. هذه هي فكرة الدينامو وطريقة توليد الكهرباء من السدود ومساقط المياه.

وجد أيضا أن المجال المغناطيسي، أثناء حركة المغناطيس فوق السلك، يوّلد مجالا كهربائيا حول السلك. المجال الكهربائي يولد هو الآخر مجالا مغناطيسيا. كل منهما يولد مجال الآخر في تسلسل، ينتج عنه موجات



تداخل المجالين الكهربي والمغناكيسي ينتج عنه الموجة الكهرومغناطيسية

نسميها الموجات الكهرومغناطيسية. منها الضوء والرادار وموجات الراديو والتلفزيون والأشعة السينية وغيرها. كلها موجات كهرومغناطيسية.

الضوء وموجات الراديو القادمة إلينا من النجوم والمجرات البعيدة، بدأت رحلتها منذ آلاف أو ملايين السنين. كان مسارها عبر فراغ متناهٍ، خالٍ تقريبا من المادة.

في الفراغ، يمكننا أن نرى ولكن لا نستطيع أن نسمع. هذا هو الفرق الجوهري بين الموجات الكهرومغناطيسية والموجات الميكانيكية ومنها الصوت. الموجات الكهرومغناطيسية لا تحتاج إلى وسط تسير فيه، أو تتذبذب فيه. الوسط يعوق حركة مثل هذه الموجات.

لكن دي بروجلي يخبرنا بوجود نوع ثالث من الموجات، وهو موجات المادة. تظهر مع حركة الأجسام. الأحجار وجسيمات الذرة وحبات الرمل والغبار والإلكترون والشمس والكواكب والنجوم البعيدة وأنا وأنت. كلها أجسام، ينتج عن حركتها موجات المادة.

موجات المادة التي يعنيها دي بروجلي، تتذبذب في الفراغ المطلق. لهذا، هي تختلف عن الموجات الميكانيكية التي تشبه موجات الصوت. كما أنها تظهر مصاحبة للأجسام المتحركة غير المشحونة بالكهرباء، لهذا هي ليست موجات كهرومغناطيسية أيضا.

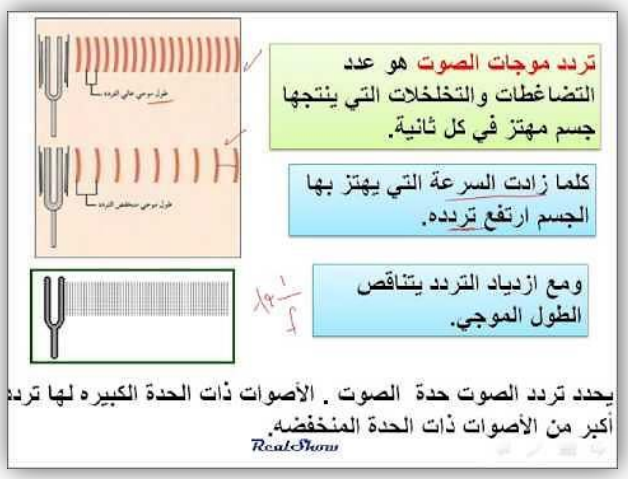
في ذلك الوقت، لم يكن يعرف العلماء نوعا آخر من الموجات. موجات المادة شيء جديد، في الواقع غير مألوف ولا مفهوم. كلام فارغ وعك علمي، هكذا قابل العلماء كلام دي بروجلي بالرفض والاستنكار.

كان العلماء يعتقدون في ذلك الوقت، بأن كل أنواع الموجات قد تم اكتشافها.

دي بروجلي يقول بأن موجات المادة موجودة ولديه ما يثبت ذلك، وهي ليست كهرومغناطيسية أو ميكانيكية، ولا تحتاج إلى وسط تسير فيه. حاجة كده زي العفاريت. غير أن العفاريت لا توجد إلا في رؤوسنا وكتبنا المقدسة.

لأن هذه الموجات تعتبر اليوم أساس الميكانيكا الكمية، سنقوم بفحصها بالتفصيل في هذه الدراسة.

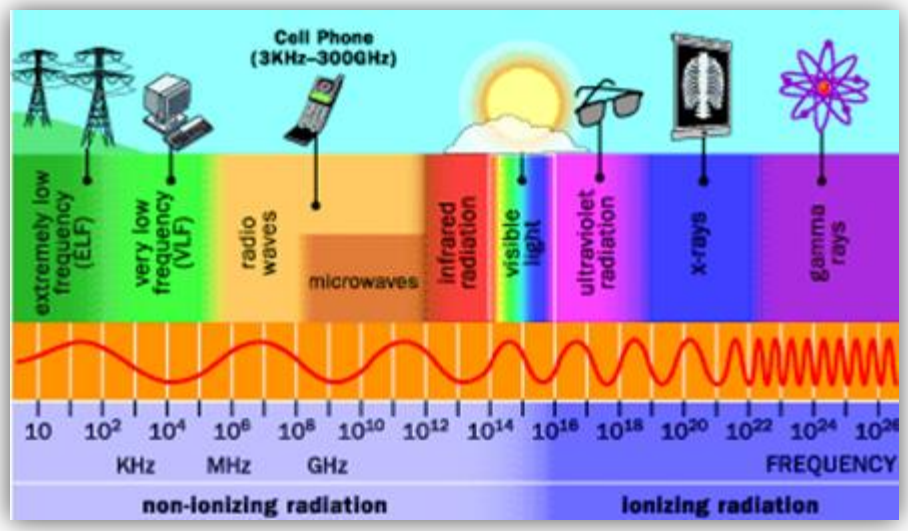
لكن لماذا لا نستطيع رؤية موجات دي بروجلي، أي موجات المادة؟ هذا أول سؤال سأله علماء الفيزياء عندما قرأوا أطروحته.



الموجات الصوتية

حسنا، بصفة عامة كيف تستقبل حواسنا الموجات. الأذن تسمع موجات الصوت عندما يكون التردد محصورا بين 20 و16000 ذبذبة في الثانية. عند 20 ذبذبة في الثانية، يكون طول الموجة 17 مترا، وهو صوت الطبل الغليظ. وعند 16000 ذبذبة في الثانية يكون طول الموجة 2 سنتيمتر، وهو صوت الصفير الحاد جدا.

عين الإنسان ترى موجات الضوء المحصور طول موجته بين 0.4 و 0.8 ميكرون. هاتان النافذتان هما المسموح لنا بالسماع والنظر من خلالهما. إذا كان طول موجات الصوت أو الضوء خارج نطاق هاتين النافذتين، لن نستطيع سماعها أو رؤيتها بالرغم من وجودها.



أنواع الموجات الكهرومغناطيسية وترددااتها

أجهزة استقبال خاصة تلتقط موجات الراديو التي يقاس طولها بالمتر والسنتيمتر، والآتية إلينا من عمق الفضاء. عدادات خاصة تجعلنا نلتقط أشعة جاما المنبعثة من أنوية الذرات. هذه موجات كهرومغناطيسية طولها يقاس بواحد مقسوما على مليون مليون مليمتر.

واضح أننا على علم بموجات لها نطاق واسع من طول الموجة. فلماذا لم تصادفنا موجة دي بروجلي؟ وكيف تستطيع الأذن سماع موجة الصوت التي طولها أمتار، بينما يفشل جهاز الراديو في التقاطتها؟

السبب هو أن الراديو يلتقط موجات الراديو فقط. والأذن لا تستطيع سماع موجات الراديو. الأذن تستقبل الموجات الصوتية فقط، والعين تتأثر بالموجات الكهرومغناطيسية.

أما الراديو فيستقبل موجات الراديو. فكيف تستطيع هذه الأجهزة أن تستقبل موجات دي بروجلي، وهي موجات تختلف في النوع عن باقي الموجات المعروفة؟

لكن، ما هو طول موجات دي بروجلي؟ جاء في أطروحته أن:

طول موجة المادة = ثابت بلانك (h) ÷ كمية الحركة للجسم.

ثابت بلانك معروف، وهو يساوي مقدار طاقة الكوانتا التي تعادل 6.6 مقسومة على واحد أمامه 27 صفر، إيرج في الثانية.

كمية الحركة = حاصل ضرب كتلة الجسم في سرعته.

معادلة بسيطة رائعة، تشبه في جمالها وأهميتها معادلة الطاقة لأينشتاين، ومعادلة طاقة الكوانتا لبلانك. يمكن حفظها بسهولة. تقول بأن الجسم المتحرك بسرعة ما، تصاحبه موجة مادية طولها يعادل ثابت بلانك مقسوما على كمية الحركة. أبسط من كده مافيش.

ثابت بلانك، مقدار صغير جدا. وإذا قسمنا ثابت بلانك على كمية الحركة، حصلنا على مقدار أصغر. القطار السريع له كمية حركة أكبر بكثير من كمية حركة راكب الدراجة بسرعة متواضعة.

لذلك طول موجة مادة القطار، أصغر بكثير من طول موجة مادة راكب الدراجة. كلما كبرت الكتلة وزادت السرعة، قل طول موجة المادة.

بالنسبة لكوكبنا الأرض، نجد موجتها = 3.6 مقسومة على واحد أمامه 61 صفرا، سنتيمتر. هذا مقدار غاية في الصغر.

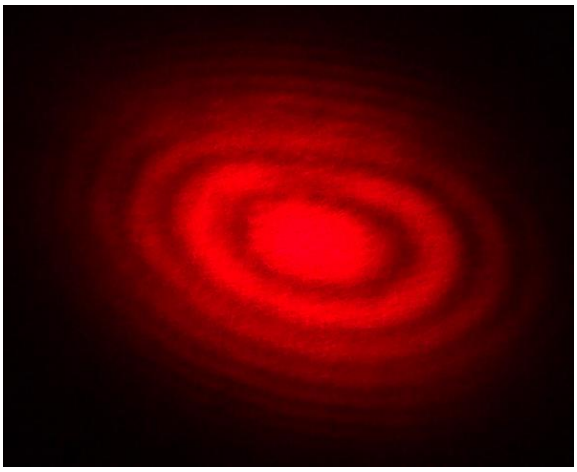
بالنسبة لحجر كتلته 100 جرام، قذف بسرعة 100 سنتيمتر في الثانية، موجته = 6.6 مقسومة على واحد أمامه 31 صفرا، سنتيمتر.

أما بالنسبة للإلكترون، فكتلته = واحد مقسوم على واحد أمامه 27 صفر، جرام. وسرعته = 60 مليون سنتيمتر في الثانية. لذلك طول موجته = واحد مقسوم على واحد أمامه سبعة أصفار، سنتيمتر.

طول موجة الإلكترون، شيء مختلف. جزء من عشرة مليون جزء من السنتيمتر، تقترب من طول موجة الأشعة السينية. التي من السهل كشفها بالأجهزة. ماذا يعني هذا؟ هذا يعني أننا قادرون على إثبات وجود موجة دي بروجلي بالتجربة.

لكن كيف؟ موجة دي بروجلي موجودة على الورق نظريا. ولا يبدو أن هناك طريقة عملية لاكتشافها. لكن الموجة، هي موجة. ولا بد من إيجاد خاصية للموجة تمكننا من اكتشافها.

خاصية الحيود تشتهر بها الموجات. الحيود يحدث عندما يعترض الموجة حائل، فتقوم الموجة بالقفز من فوقه، وتظهر في الجانب الآخر من الحائل في منطقة الظل قريبا من الحافة.



حلقات تداخل الضوء

إذا كان الحائل قرصا مستديرا، ظهر حيود الموجات في شكل حلقات مضيئة ومظلمة في تتابع. ظهور الحيود، إثبات وجود الموجات بدون شك. ولأن الضوء له خاصية الحيود، لذلك أقر العلماء بأنه موجات.

لكن طول موجة الضوء أطول من موجة دي بروجلي للإلكترون مئات أو آلاف المرات. كل التجارب التي أقيمت لكشف موجة دي بروجلي كان الساتر فيها كبيرا، لا يسمح بحيود هذه الموجات متناهية الصغر.

ما يصلح لموجات الضوء، لا يصلح لموجات دي بروجلي. طول الساتر يجب أن يكون مناسبا أو أصغر من موجة دي بروجلي.

في عام 1912، لاحظ عالم الفيزياء "لو"، حيود الأشعة السينية عن طريق استخدام البلورات. لاحظ وجود نقط أو بقع مضيئة ومظلمة في تتابع على ألواح فوتوغرافية تعرضت للأشعة السينية بعد مرورها خلال البلورات.

بعد ذلك بعدة سنوات، أعاد ديبي وشيرير تجربة "لو" باستخدام مسحوق بلورات، وحصلا على حلقات التداخل بالنسبة للأشعة السينية. هذا حدث، لأن المسافات بين ذرات البلورات كانت قريبة من طول موجة الأشعة السينية. وهي جزء من مئة مليون جزء من السنتيمتر.

طول موجة دي بروجلي للإلكترونات تقع بالقرب من هذه المقاييس. هذا يعني أن مثل هذه الموجات، إن وجدت بالنسبة للإلكترون، فإن مرورها خلال البلورات ينتج عنه حلقات التداخل التي نبحث عنها.

بعد ذلك بسنوات قليلة، أثبت العالمان الأمريكيان، دافيسون وجيرمر، والعالم السوفيتي، ترتاكوفسكي، بالتجربة أن الإلكترونات عندما تمر بالبلورات، ينتج عن ذلك حلقات الحيود. مما يدل على أن الإلكترون موجة بدون شك.

لم تكن التجربة بسهولة تجربة مرور الأشعة السينية في البلورات. لسبب بسيط، وهو إن ذرات البلورات كانت تمتص الإلكترونات بالكامل فيما عدا طبقة سطح البلورة بسمك يقدر بجزء من المليمتر.

المطلوب الآن طبقة بلورات دقيقة جدا أو رقائق معدنية أو شيء من هذا القبيل. بحيث يمكن توجيه شعاع من الإلكترونات بزاوية حادة جدا إلى سطح البلورة أو الرقائق، حتى لا تخترقها بعمق. ثم يسجل المسار على لوح فوتوغرافي.

عند تحميض اللوح الفوتوغرافي، ظهرت حلقات حيود الإلكترونات واضحة جلية للعيان. أول هذه الألواح التي سجلت أول صورة لموجات المادة، لا تقدر قيمتها بثمن.

أُرسلت النتائج إلى أكبر معامل الفيزياء في العالم للفحص والمراجعة. لا يوجد أي شك في خطوات أو دقة التجربة. الإلكترونات لها خاصية الجسيمات، ولها في نفس الوقت خاصية الموجات.

لكن ما معنى أن المادة لها موجة؟ وكيف نفهم الطبيعة المزدوجة للأشياء؟ في ذلك الوقت، كان العلماء يعرفون ما هو الإلكترون. هو جسيم صغير جدا وخفيف الوزن جدا من المادة، يحمل شحنة سالبة. ولم يكن أحد يهتم بشكل الإلترون أو ماذا يحدث بداخله. ولا توجد وسيلة لمراقبة الإلكترون مباشرة.

إذا كان الإلكترون جسيما ماديا، فلا بد أن تكون له خواص الجسيمات. فكيف يكون له خواص الموجات التي تختلف تماما عن خواص الجسيمات؟

الإلكترونات تدور حول النواة مثل دوران الكواكب حول الشمس. الفرق هو أن الإلكترونات يمكنها تغيير مداراتها حول النواة. بعكس الكواكب التي لها مسارات ثابتة.

هذه أول مرة يواجه العلماء خاصية لا يمكن تصورها أو تخيلها. مثل عبور الجمل من ثقب الإبرة.

كيف يمكننا تخيل الإلكترون حينما يقابل عائقا في طريقه، يقفز من فوقه ويذهب إلى الجانب الآخر مثل الطالب الشقي الذي يقفز من فوق سور المدرسة.

القفز من فوق أسوار المدرسة

لا، الجسيمات والأمواج شيئان مختلفان، وجود أحدهما يبطل وجود الآخر. الأشياء إما أن تكون جسيمات أو أمواج. ولا يمكن أن تكون غنيا وفقيرا في نفس الوقت.

إلا أن موجة دي بروجلي ثبت أنها موجودة، وموجودة جدا. وإذا كان الإلكترون له خاصية موجية، فكل شيء في هذا العالم صغير أو كبير له خاصية موجية أيضا.

ركوب الموجة المتقدمة

أول محاولة لفهم موجات المادة جاءت من دي بروجلي نفسه. رياضة ركوب الأمواج العالية المشهورة في إستراليا، تعتمد على ركوب الموجة المتقدمة. فكرة دي بروجلي، هي أن موجته تتقدم حركة المادة مثل الموجة المتقدمة.

الجسيم يركب صدر الموجة مثل المتزلق عندما يركب مقدمة موجة الشاطئ. قد تكون الموجة أطول من اللازم، هكذا قال دي بروجلي. طول الموجة أطول من طول الإلكترون، وعند السرعات المنخفضة قد تكون أطول آلاف المرات.

ليس المهم هنا هو من يقود من. المهم أنهما يسيران معا. الموجة تتلاشى فقط عندما يتوقف الإلكترون عن الحركة. لأن كمية الحركة في معادلة دي بروجلي تساوي صفرا في هذه الحال.

عندما نقسم ثابت بلانك (أو أي مقدار) على صفر، يكون الناتج مالا نهاية. بالطبع إذا كان طول الموجة مالا نهاية، تتوقف موجة دي بروجلي عن كونها موجة.

يقول دي بروجلي، إن الإلكترون يركب موجته. فمن أين تأتي هذه الموجة. إنها تصاحب الجسيم حتى لو سار الجسيم في الفراغ. هذا يعني أن الموجة تأتي من الجسيم نفسه. لكن يبقى السؤال، كيف يحدث ذلك؟

كيف تتحرك الموجة مع الجسيم؟ وكيف تشاطره المصير؟ فروض دي بروجلي لم تجاوب على هذه الأسئلة. للخروج من هذه الأزمة، حاول دي بروجلي التخلص من مفهوم الجسيمات كلية. لماذا لا نعتبر الموجة هي نفسها الجسيم؟

بمعنى أن الموجات تكون حزمة. كل حزمة تتكون من عدد صغير من الموجات القصيرة. وعندما تتصادم حزمتان، يظهران كجسيم. مثل موجات الفوتونات، عندما تطرد الإلكترون من السطح المعدني.

لكن الطبيعة رفضت فرض دي بروجلي هذا. لقد ثبت أن هذه الحزم الموجية، لا يمكنها التحول إلى جسيمات، بالتصادم أو بغير التصادم. لذلك تم رفض هذا النموذج الذي يساعدنا على تصور موجة دي بروجلي، في مؤتمر بمدينة بروكسل، حضره معظم علماء الفيزياء من جميع أنحاء العالم عام 1927.

بعد عدة سنوات، في نفس مكان المؤتمر، جاء تصور جديد للعلاقة بين موجة دي بروجلي والجسيمات. قام بعرضه عالمي فيزياء شابان ألمانيان، هما ويرنر هيزنبيرج وإروين شرودينجر.

الباب الخامس

الموجة الاحتمالية

هيزنبرج

قام العالمان، هيزنبرج الألماني و شرودينجر النمساوي، برفض تصور دي بروجلي لطبيعة موجة المادة التي ترافق الجسيمات. وجاءا بعرض تصور جديد لهذه الموجة، كان خطوة كبيرة في تطور أسس الميكانيكا الكمية.

فكرة موجة دي بروجلي التي تصاحب الجسم المتحرك، تم قبولها بسرعة في المحافل العلمية للعديد من الدول. بعد عام من أطروحة دي بروجلي، جاء عالم الفيزياء الألماني ماكس بورن بتصور جديد لموجة دي بروجلي.

شرودينجر

هيزنبرج، تلميذ ماكس بورن، والذي كان في بداية حياته العلمية يعمل كباحث، اهتم بحكاية موجة دي بروجلي هذه. موجة دي بروجلي وأبحاثه كانت تناقش بمجموعة أخرى من علماء الفيزياء، من بينهم شرودينجر.

دعنا نستعيد تجربة حيود الإلكترونات. في هذه التجربة، شعاع الإلكترونات يسقط بزاوية حادة على سطح بلورة، أو رقيقة معدنية. فيحدث حيودا لشعاع الإلكترونات، ويسجل حلقات تداخل على لوح فوتوغرافي موضوع في الجهة

المقابلة.

تم تصميم مصدر إلكترونات أو مدفع إلكترونات، يمكن عن طريقه التحكم في شدتها وسرعتها. لدينا حاجز به فتحة مستديرة. أدخل الحاجز بين مصدر الإلكترونات والبلورة. عند مرور الإلكترونات من الفتحة، تأخذ صورة الإلكترونات على اللوح الفوتوغرافي شكل الفتحة.

ماذا يحدث لو كان عدد الإلكترونات التي تمر من الفتحة لا يزيد عن عشرات الإلكترونات؟ عند تحميض اللوح الفوتوغرافي، سنجد نقط عشوائية موزعة، تشبه العلامات التي تحدثها طلقات مسدس في يد غير مدربة.

دعنا نستمر في إطلاق مدفع الإلكترونات. بعد عدة آلاف قذيفة، سيظهر على اللوح حلقات معتمة ومضيئة متداخلة.

سنلاحظ هنا شئ عجيب. عندما يكون عدد الإلكترونات صغير، ليس لدينا موجة ولا يحزنون. خاصية الإلكترونات الموجية، تظهر فقط في حالة الأعداد الكبيرة من الإلكترونات. موجة الإلكترون تظهر فقط مع الحشود الكبيرة. فما هي العبارة؟

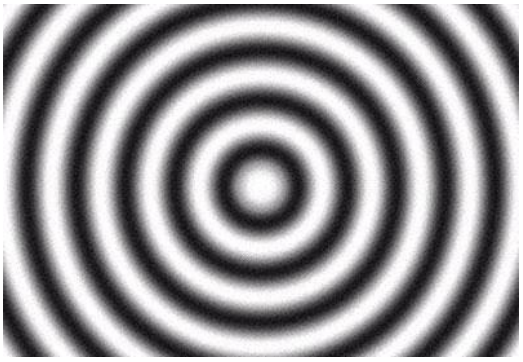
للإجابة على هذا السؤال، دعنا نعيد التجربة. نفس التجربة ولكن بطريقة مختلفة. مدفع الإلكترونات يطلق كميات كبيرة منها في وقت قصير. نجد حلقات الحيود تتكون على اللوح الفوتوغرافي. ثم نقوم بإطلاق كميات صغيرة تباعا في وقت طويل. نجد أننا نحصل على نفس الحلقات، طالما لدينا نفس عدد الإلكترونات.

في الحالة الأولى، حدث حيود الإلكترونات، أي ظهور الحلقات، عندما تزاحمت الإلكترونات بالآلاف في وقت واحد. لكن في الحالة الثانية، وهذا هو الغريب في الأمر، حيود الإلكترونات يحدث، حتى لو مرت الإلكترونات واحد واحد من الفتحة.

النتيجة واضحة كل الوضوح، كل إلكترون له مزاجه الخاص الغير مفهوم، والذي لا يعتمد على الآخرين، كأنهم غير موجودين.

دعنا نفحص اللوح الأول، عندما كان عدد الإلكترونات قليل. لأول وهلة، يبدو أن النقط على اللوح عشوائية. لكن هناك شئ ملفت للنظر. بدلا من ظهور النقط داخل الدائرة

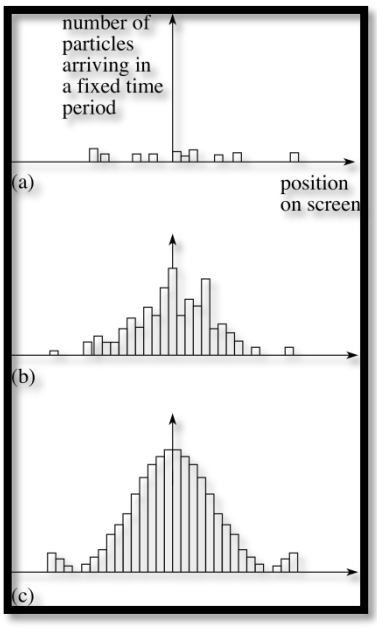
المقابلة لفتحة الساتر، نجد وهذا غريب في الأمر، أن الكثير من النقط كان خارج دائرة الهدف.



حيود الإلكترونات

هناك شئ آخر ملفت للنظر. إذا فحصنا نقط اللوح بتمعن، سنلاحظ أن الإلكترونات لا تصيب اللوح بعشوائية أبدا. حتى لو كان عددها قليل. هناك مساحات فارغة على اللوح وتجمعات لنقط. مكان حلقات الحيود محفوظ على اللوح، تزداد وضوحا كلما زاد العدد.

دعنا نعد الإصابات في كل حلقة، ونقوم بعمل رسم بياني. المحور الأفقي، يمثل عدد الحلقات بالنسبة لبعدها عن مركز اللوح. المحور الرأسي يمثل الإصابات بين حلقتين. فماذا هو شكل الرسم البياني الناتج؟ هل هو منحنى أملس يمثل التوزيع الطبيعي لخطأ مسار الإلكترونات، أي منحنى جاوس كما يسميه علم الإحصاء؟



تغير الموجة الاحتمالية لبروجلي مع تزايد عدد الإلكترونات

لا يا محترم، منحنى التوزيع الطبيعي الذي يشبه شكل الناقوس الأملس، لا يحدث في حالة الإلكترونات. منحنى الإلكترونات يتذبذب صاعدا ونحن نتجه إلى المركز، ثم يتذبذب نازلا كلما بعدنا عن المركز. شكل توزيع إصابات الإلكترونات على اللوح لا يشبه منحنيات التوزيع المعروفة في عالم الإحصاء. إنه يتبع قانون جديد في علم الاحتمالات.

هذا الشكل البياني الذي يشبه الناقوس المتموج، في زجزاج صاعد ونازل، لا يشبه أشكال المنحنيات المعروفة. لكنه لايزال يشبه الموجة. هذا الشكل هو ما أطلق عليه ماكس بورن، "موجة دي بروجلي". وهي تمثل معنى جديدا أو تفسيرا جديدا لموجة دي بروجلي السابق أن طرحه دي بروجلي نفسه.

فيزياء نيوتن الكلاسيكية، تقول بأن الإلكترون المار من الفتحة، يسير في خط مستقيم حتى يصطدم بذرات البلورة ويخرج من البلورة ليضع علامة على اللوح الفوتوغرافي.

ليس هناك يد مرتعشة أو عيون منهكة لمن يقوم بالتجربة. ولا توجد رياح أو حرارة زائدة تتدخل في مسار الإلكترون. لذلك نقول إن الإلكترون بعد انكساره، يضع علامة في الدائرة المقابلة للفتحة. لذلك نتوقع بعد التجربة، ظهور علامة صغيرة واضحة ولا غير ذلك.

لكن الإلكترون يرفض سلوك القوانين الكلاسيكية. بدلا من ظهور العلامة الصغيرة على اللوح الفوتوغرافي، نجد مجموعة حلقات مضيئة ومعتمة. ليس هذا بسبب عدم الدقة في التصويب. النتيجة كما أسلفنا، موجة ليست شبيهة في توزيعها بالموجات التي نعرفها.

شكل منحنى التوزيع على اللوح الفوتوغرافي للإلكترون، يشبه الموجة الناتجة من الأشعة السينية، إذا أجريت عليها نفس التجربة. إذن الموجة التي أمامنا هي موجة إلكترون أكثر وضوحا من أي تصور سابق.

موجة الإلكترون، ليست طائرة يقودها الإلكترون. إنما هي موجة تحدد إحتمال إصابة الإلكترون لنقطة معينة على سطح اللوح الفوتوغرافي. اختار لها ماكس بورن اسم "الموجة الاحتمالية".

في الفيزياء الكلاسيكية، لم يصادفنا موضوع الاحتمالات. حركة الأجسام دقيقة ومضبوطة ويمكن معرفتها إذا عرفنا القوة المؤثرة عليها. يمكننا التنبؤ بمكان الجسم وسرعته في أي وقت.

في منتصف القرن التاسع عشر، بدأت دراسة الحركة الداخلية للغازات. تبين للعلماء أن قوانين نيوتن للحركة، لا يمكن تطبيقها مباشرة على جزيئات الغاز. لكي نقوم بدراسة حركة الغازات على مستوى الجزيئات، نحتاج إلى كتابة وحل معادلات رياضية معقدة لكل جزيء من الغاز.

جزيئات الغاز لا تقف ساكنة. إنما هي دائمة الحركة والتصادم مع بعضها ملايين المرات في الثانية الواحدة. في البحث عن طريقة معقولة لدراسة حركة الغازات، وجد

العلماء أنه من الأفضل التركيز على درجة الحرارة للغاز وكثافته والضغط الواقع عليه وخواص أخرى.

ليس هناك حاجة لمعرفة سرعة كل جزيء من الغاز. التركيز على خواص الغاز ككل، يعني استخدام متوسط سرعة جزيئات الغاز ومتوسط درجة حرارته ودرجة ضغطة، إلخ. لكن كيف نحصل على متوسط سرعة جزيئات الغاز؟ هنا تسعفنا نظرية الاحتمالات.

بالطبع سرعة جزيئات الغاز ليست متساوية. بل لها سرعات مختلفة ومتغيرة كل لحظة بسبب التصادم فيما بينها. هنا يأتي قانون الاحتمالات للأعداد الكبيرة. يمكننا تطبيقه للحصول على نتائج مرضية.

هذه قوانين جديدة يمكن تطبيقها على الإلكترونات والذرات والجزيئات. القوانين الكلاسيكية لا تصلح هنا. الجزيئات هنا بمعنى اتحاد ذرتين من نفس النوع، أو ذرتين أو أكثر من أنواع مختلفة. الذرة لا توجد منفردة، فهي أيضا لا تحب الوحدة.

بدلا من إصابة اللوح الفوتوغرافي في المكان المتوقع. "الإلكترون يختار طريقه بنفسه، كأن له حرية إرادة ومزاج خاص به". بهذا صرخ أحد علماء الفيزياء وهويراقب سلوك الإلكترون، عندما لاحظ عناده وعصيانه.

العلماء الذين لا يتحلون بالفلسفة وقعوا في حيرة وحيص بيص. عندما يكون للإلكترون حرية إرادة، فلا توجد قوانين يمكن أن تصف حركته وسلوكه. هذه فوضى حقيقية.

إن كان الأمر كذلك، فلماذا نحتاج العلوم التي تبنى على القوانين. ولماذا نبحث عن القوانين إن لم تكن موجودة أصلا؟ هنا تسقط الفلسفة المثالية.

الإلكترون يرفض المثول للقوانين الكلاسيكية ومنها قوانين نيوتن. لكنه يخضع للقوانين الجديدة. قوانين الميكانيكا الكمية. فما هي قوانين الميكانيكا الكمية؟ وما معنى وجود حلقة مضيئة على اللوح الفوتوغرافي في تجربة حيود الإلكترونات؟

هذا يعني أن الإلكترون لم يصب هذه البقعة من اللوح الفوتوغرافي (النيجاتيف). مما يدل على أن الإلكترون، على غير ما يبدو، ليس حرا. بل هو مقيد في سلوكه. هناك شئ ما منعه من إصابة هذه الحلقة المضيئة.

الحلقة المعتمة، هي التي أصابتها الإلكترونات. لكن ليست كلها تقع في هذه الحلقة. هناك منطقة رمادية بين الحلقتين.

دعنا نراجع ما حدث. يترك الإلكترون المصدر، يمر خلال الفتحة المستديرة في الساتر، ثم ينعكس من البلورة ويتجه إلى اللوح الفوتوغرافي. فأين يصيب اللوح؟

الفيزياء الكلاسيكية تحسب الزوايا والمسافات والسرعة، ثم تقول لنا بكل ثقة، هنا. لكن الإلكترون يخيب أملنا ويصيب مكانا آخر.

الميكانيكا الكمية تقول لنا: "لا أعرف بالتأكيد، لكن هناك احتمال كبير أن يصيب الحلقة المعتمة. وهناك احتمال أقل أن يصيب المنطقة الرمادية. وليس من المحتمل أن يصيب المنطقة المضيئة.

إنه أمر غريب بالنسبة لعلم يوصف بالدقة والانضباط، أن يحدثنا بعبارت مثل، لا أعرف ومن المحتمل. لكن يجب أن لا ننسى أننا أمام علم حديث يواجه أطنانا من الظواهر المعقدة والغير مفهومة، في عالم أكثر تعقيدا. الحديث عن الاحتمالات في العلوم، يعني أن معرفتنا لظاهرة ما، ليست مطلقة وغير كاملة ومنضبطة.

دعنا نعود إلى موجات دي بروجلي التي ترافق الأجسام المتحركة. هذه الموجات تحدد مسار الإلكترون. لكن تحديد المسار يكون بطريقة إحتمالية، وليس بالضبط.

بالنسبة لتجارب حيود الإلكترونات، هذه الموجات ترسم مسار الإلكترونات على اللوح الفوتوغرافي، فتجعل الإلكترون يتبع هذا المسار ليصيب اللوح في المكان الأكثر احتمالا.

فهل أصاب ماكس بورن في اعتبار هذه الموجات الاحتمالية، أي الموجات التي توجه الإلكترون إلى اللوح بطريقة إحتمالية، هي نفسها موجات دي بروجلي؟ أم موجات دي بروجلي شئ مختلف؟ دعنا نفحص ذلك.

معادلة دي بروجلي لحساب طول موجة المادة، تقول إنه بزيادة سرعة الإلكترون، يقل طول موجته. العلماء يعرفون أن زيادة حدة الأشعة السينية، تعني نقص طول موجتها وضغط حلقات حيودها.

دراسة حيود الإلكترونات تحت سرعات مختلفة، بينت أن حلقات حيوده على اللوح الفوتوغرافي تنضغط إلى الداخل بزيادة سرعتها. مثل الأشعة السينية.

الآن حساب طول موجة الإلكترونات عن طريق قياس المسافات بين الحلقات على اللوح الفوتوجرافي، أثبت أنها توافق تماما معادلة دي بروجلي لحساب طول موجة الإلكترون. يا إلهي، يا له من عبقري هذا الشاب المدعو دي بروجلي.

ليس لدينا الآن أي شك. الموجة الاحتمالية التي تجعل الإلكترونات ترسم حلقات متداخلة على اللوح الفوتوغرافي، هي نفسها موجات المادة التي تنبأ دي بروجلي بوجودها من قبل بعدة سنوات. وهي موجات ليست قاصرة على الإلكترونات، بل هي ظاهرة كونية تنطبق على كل الأجسام وجزيئات المادة التي تسير بسرعة.

الموجات بصفة عامة، ومنها الموجات الكهرومغناطيسية، لا تظهر كجسيمات، وتسلك سلوك الموجات من تداخل وحيود واستقطاب. لكن عندما يقصر طول موجاتها، تبدأ تسلك سلوك الجسيمات، وتستطيع أن تنزع الإلكترونات من السطح المعدني.

خير مثال على ذلك هو أشعة جاما. وهي أقصر الموجات الكهرومغناطيسية المعروفة. لذلك هي تنزع جسيمات المادة بسهولة، وتظهر على أنها جسيمات بنت جسيمات من المادة.

اكتشاف دي بروجلي، وحد عالم الظواهر الفيزيائية في وحدة واحدة. وفسر لنا الطبيعة المزدوجة التي تبدو متعارضة للضوء والإلكترون، والتي تقول بأن كلاهما جسيمات وموجات في نفس الوقت.

الباب السادس

مبدأ عدم اليقين لهيزنبرج

هيزنبرج

في عام 1922م، قام نيلز بور بإلقاء عدة محاضرات في ألمانيا عن تطور الفيزياء الحديثة. خريج جامعي عمره 21 عاما، يدعى وارنر هيزنبرج، أبدى ملاحظة هامة في أحد المحاضرات.

بهر بور بالشاب هيزنبرج. وطلب منه أن يرافقه في رحلة للتزلج على الجليد، لكي يناقش ملاحظته التي أبداها في المحاضرة. خلال الرحلة، عرض بور على الشاب وظيفة في معهد كوبنهاجن بعد تخرجه.

في عام 1924م، حصل هيزنبرج على شهادة الدكتوراه. قبل العرض الذي قدمه له بور في معهد كوبنهاجن، كان عمره 23 سنة. هناك قابل لفيفا من علماء الفيزياء الشبان النوابغ، من كل أنحاء أوروبا والولايات المتحدة وروسيا.

كانوا كلهم يقومون بدراسة الذرة. بينما نحن في بلادنا في ذلك الوقت، كنا ولا زلنا نقوم ببحث ما قاله الفقاء في ثواب طول اللحية وفضيلة طمس النساء. بعد عام واحد، عاد هيزنبرج لمعهد كوبنهاجن لكي يعمل كمساعد لماكس بورن رئيس قسم الفيزياء.

في معهد كوبنهاجن، بدأ هيزنبرج بدراسة خطوط طيف الذرات. لدراسة طيف أحد

العناصر الغازية مثلا، يوضع الغاز في أنبوبة زجاجية، ليمر خلالها ضوء. الضوء الناتج من الأنبوبة يمر خلال منشور زجاجي.

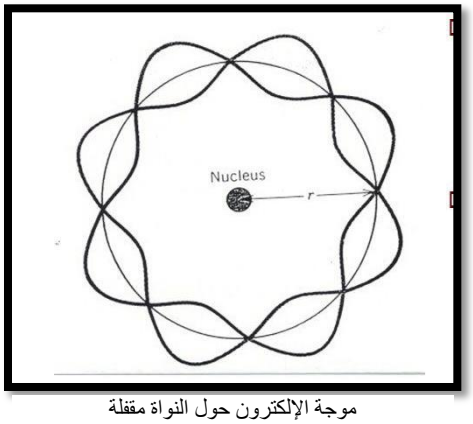
يتحلل الضوء إلى ألوان الطيف المختلفة، لكن يتخللها خطوط طولية تختلف من عنصر لآخر. هذه الخطوط مميزة، يمكن منها معرفة العنصر. هذه الطريقة التي نعرف بها العناصر الكيميائية الموجودة في النجوم. عن طريق التحليل الطيفي.

كان هيزنبرج مهتما بإيجاد المعادلات الرياضية لخطوط الطيف الخاصة بذرة الهيدروجين. ذرة الصوديوم لها خط أصفر واحد. لكن ذرة الهيدروجين لها أربعة خطوط، خط أحمر وخطان أزرقان وخط بنفسجي. بينما غاز الهيليوم، له خطان أصفران يقتربان من بعضهما.

خطوط طيف ذرة الهيدروجين

أثناء بحث هيزنبرج عن المعدلات الرياضية، اكتشف أنه يستطيع أن يستخدم فرعا جديدا من الرياضيات يسمى جبر المصفوفات، وعليه أصبحت دراسته لذرة الهيدروجين تعرف بميكانيكا المصفوفات.

من دراسة هيزنبرج لذرة الهيدروجين، اكتشف أن المقادير التي يمكن قياسها بالنسبة للإلكترون، مثل المكان أو السرعة، لا يمكن تمثيلها بالأرقام العادية كما تعودنا. بل يجب تمثيلها بطريقة المصفوفات التي لها جبر خاص بها.



موجة الإلكترون حول النواة مقفلة

اروين شرودينجر، أستاذ الفيزياء بجامعة زيورخ، قام بدراسة أبحاث دي بروجلي عن الموجة المصاحبة للإلكترون. ولاحظ شرودينجر أن دي بروجلي يقول: إن الموجة المرافقة للإلكترون، وهو يدور حول النواة، يجب أن تكون مغلقة، أي مقفولة على نفسها.

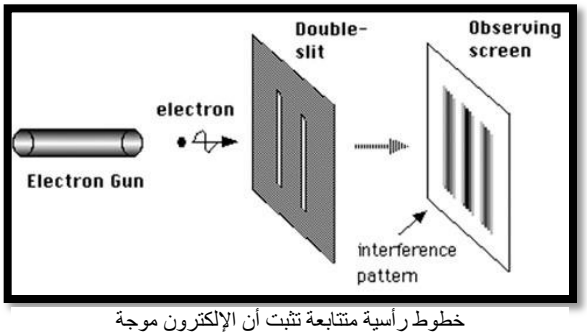
إذا وجد الإلكترون في مدار غير مسموح به، فإن الموجة لن تكون مقفولة على نفسها. هذا يفسر لنا لماذا توجد مدارات معينة مستقرة للإلكترون دون غيرها.

استخدم شرودينجر هذه الفكرة، وبنى عليها معادلات رياضية خاصة بالموجة. في البداية لم تتفق حساباته مع التجارب العملية. لكن أثناء أحد المحاضرات التي كان يلقيها، جاءت مناقشة مع الطلبة، أعطته فكرة كانت غائبة عنه.

عاد شرودينجر إلى معادلاته لمراجعتها. بعد شهرين، جاء بمعادلته الشهيرة الخاصة بذرة الهيدروجين، والتي تتطابق نتائجها مع التجارب العملية تماما ومع أعمال هيزنبرج. هذه المعادلة تسمى ميكانيكا الموجات. هذه هي معادلة شرودنجر لذرة الهيدروجين:

$$i\hbar\frac{\partial}{\partial t}\Psi(\mathbf{r},t) = \left[\frac{-\hbar^2}{2\mu}\nabla^2 + V(\mathbf{r},t)\right]\Psi(\mathbf{r},t)$$

هي أشهر المعادلات في الميكانيكا الكمية. شرحها بالتفصيل هنا يخرج عن نطاق هذه الدراسة. المهم هو أنها تصف حركة الإلكترون في مجال مشحون، مثل مجال النواة التي لها شحنة موجبة.



خطوط رأسية متتابعة تثبت أن الإلكترون موجة

سنقوم باستخدام نفس التجربة التي أثبتت أن الضوء موجات. وهي عبارة عن مدفع إلكتروني أمامه حاجز به فتحتان. خلف الحاجز حائط. المدفع الإلكتروني يطلق مجموعة من الإلكترونات لتمر من الفتحتين وتصل إلى الحائط. ماذا نرى؟ خطوط كثيرة رأسية مضيئة وأخرى مظلمة في تداخل وتتابع. ماذا يعني هذا؟ يعني هذا حيود الإلكترونات عن مسارها، وأنها موجات مثل الضوء.

الآن سوف نقوم بقفل إحدى الفتحتين وترك الأخرى مفتوحة. نترك المدفع يطلق الإلكترونات على الفتحة. ماذا حدث؟ لا تداخل وإنما خط رأسي واحد مضئ يمثل الفتحة. هذا يعني أن الإلكترونات تسلك سلوك الجسيمات في هذه الحالة. طلقات الرصاص سوف تفعل نفس الشئ.

تعال معي نطور التجربة بعض الشئ لكي نراقب الإلكترونات وهي تمر من الفتحتين. مثل التجربة الأولى. سوف نترك الفتحتين مفتوحتين. ونضع على كل منهما جهاز للكشف عن الإلكترون ومعرفة مساره. ماذا حدث في هذه الحالة؟ لا حيود. خطين فقط وليست عدة خطوط كما في الحالة الأولى. أي أن الإلكترون هنا عبارة عن جسيمات.

ماذا يعني هذا؟ الإلكترون يكون جسيما عندما نقوم بمراقبته. وموجة عندما لا نراقبه ونتركه لحاله. هذه الخاصية تسمى "مبدأ عدم اليقين" لهيزنبرج. هذه المشكلة ليس لها علاقة بالخداع البصري أو بغبائنا. إنما هكذا تعمل قوانين الكون.

نعرف أن الإلكترونات، في تجربة الحيود، عندما تصيب اللوح الفوتوغرافي، تشكل حلقات متداخلة غامقة وفاتحة. مما يثبت الطبيعة الموجية لها. لكي نرى الحلقات، نحتاج لأعداد كبيرة من الإلكترونات.

لكن، ما معنى موجة دي بروجلي بالنسبة لإلكترون وحيد بمفرده. هذه الموجة، تجعله يحيد عن مساره الكلاسيكي ويتبع مزاجه الخاص ليتبوأ مقعدا في المنطقة المعتمة أو الرمادية من الحلقات وفقا لقوانين الاحتمالات.

دعنا نبحث مبدأ "عدم اليقين" لهيزنبرج بالتفصيل. الإلكترون جسيم صغير جدا يقترب من المفيش. كيف نستطيع قياس أبعاده؟ لكي نرى أي جسم، علينا أن نضيئه بطريقة ما. اظهر وبان عليك الأمان.

إضاءة أي جسم تعتمد على أبعاده وحجمه. أول ما يلزمنا للحصول على صورة واضحة، هو أن يكون طول موجة الضوء أصغر من أبعاد الجسم. طول موجة الضوء العادي تتراوح ما بين 0.4 و 0.8 ميكرون. الميكرون يساوي جزء من ألف جزء من المليمتر. لذلك هو يستطيع إضاءة أجسام بوضوح أبعادها لا تقل عن 2 أو 3 ميكرون.

لكن لو كان لدينا جسما قطره 2 ميكرون، فصورته تصبح مزغللة غير واضحة. وإذا كان قطره يساوي طول الموجة الضوئية، نحصل على نموذج حيود في شكل خطوط معتمة وفاتحة في تتابع، بدلا من صورة واضحة للجسم. أما إذا كان قطر الجسم أصغر من ذلك، فإن الضوء يمر عليه مرور الكرام، كأن الجسم غير موجود بتاتا.

الإلكترون يختلف حجمة عن حجم حبة تراب أو باكتيريا. الإلكترون حجمه أصغر مئات ملايين المرات من طول موجة الضوء. فكيف نلقي عليه الضوء وهو بهذا الصغر؟ ستصيبه حتة من الموجة، في هذه الحالة.

لحسن الحظ، لدينا أشعة جاما ذات الموجات متناهية الصغر. دعنا نحاول إنارة الإلكترون، لا بالضوء وإنما بأشعة جاما. النتيجة أننا لن نرى شيئا. كأن الإلكترون غير موجود، فص ملح وداب. حتى حلقات الحيود غير موجودة. مهما حاولنا، كل مرة نفشل في تصوير الإلكترون.

معادلة دي بروجلي تقول إن طول الموجة = ثابت بلانك مقسوما على كمية الحركة. هذا يعني أنه، كلما صغر طول الموجة، كلما زادت كمية الحركة.

عندما يصطدم الفوتون (الضوء) حبة التراب، يفرغ كمية حركته في حبة التراب وينعكس لكي نراه بأعيننا. حبة التراب، نظرا لكبر حجمها نسبيا، لن تتزحزح من مكانها. إذا كانت ساكنة، ستظل ساكنة. وإذا كانت متحركة، لن تغير من حركتها أو اتجاهها.

الإلكترون هنا شئ مختلف. كتلته لا تقارن بكتلة حبة التراب. كما أن كمية حركته صغيرة حتى لو سار بسرعة كبيرة. أشعة جاما لها كمية حركة أكبر آلاف ملايين المرات من كمية حركة فوتون الضوء.

عندما تصطدم أشعة جاما الإلكترون، لن تظهر حلقات الحيود. كما أن الإلكترون سيختفي من المشهد ويهرب في اتجاه ما. إذا تتبعنا الإلكترون الهارب، وعرفنا اتجاه فراره، لن نعرف سرعته. وإذا عرفنا سرعته أو أنه ساكن، لن نعرف مكانه. لماذا؟

عندما تصطدم أشعة جاما الإلكترون، الذي نريد تصويره أو دراسته، فأنت تتكلم عن تصادم قطار بعربة أطفال. هذا صحيح بالنسبة لكل أجهزة قياس حركة جسيمات الذرة المتناهي في الصغر.

نحن أمام حيرة وعدم دقة، أو عدم يقين، عندما نحاول القياس. ثم يأتي هيزنبرج عام 1927م، لكي يصيغ لنا قانونا من قوانين الميكانيكا الكمية، قانون أو مبدأ "عدم اليقين" المشهور. القانون يقول:

(عدم اليقين في قياس موضع الجسيم) X (عدم اليقين في قياس سرعته) أكبر من أو يساوي (ثابت بلانك ÷ الكتلة). هناك صيغة أخرى باستخدام ثابت بلانك المعدل.

فما معنى هذا الكلام الكبير؟

أولا، شئ من أساسيات علم الرياضيات.

إذا كان مقدار (س) مضروبا في مقدار (ص)، دائما أكبر من أو يساوي مقدار موجب، كما هو الحال بالنسبة لمبدأ هيزنبرج، ينتج عن ذلك الآتي:

إذا كانت س=صفر، فما قيمة ص التي تبقي على المعادلة سليمة؟

أية قيمة تأخذها ص في هذه الحالة، لن تحقق المعادلة، إلا إذا كانت قيمتها مالانهاية. حاصل ضرب صفر في مالا نهاية، يمكن أن يأخذ أية قيمة.

إذا أردنا معرفة الموضع بدقة مطلقة، يجب أن يكون عدم اليقين في قياس الموضع مساويا للصفر. في هذه الحالة، حسب معادلة هيزنبرج، يصبح عدم اليقين في قياس السرعة مالانهاية. أي لا يمكن قياسه.

كذلك، إذا أردنا معرفة السرعة بدقة مطلقة، يجب أن يكون عدم اليقين في قياس السرعة مساويا للصفر. في هذه الحالة، يكون عدم اليقين في قياس المكان مالانهاية، أي لا يمكن قياسه.

مبدأ عدم اليقين، أو الشك، أو الريبة، أو عدم التأكد، ظهر عام 1927م. يقول كده بصريح العبارة أننا لن نستطيع معرفة الحقيقة المطلقة. ماتحاولش. بيننا وبينها بون شاسع. تبخل علينا وتأبى أن تظهر لنا بالكامل. معرفتنا لطبيعة الأشياء لها حدود يا حضرت.

إذا عرفنا مكان الإلكترون، فلا يمكننا معرفة هل هو ساكن أم متحرك. وإذا عرفنا أنه ساكن أو متحرك وتأكدنا من ذلك، لا نعرف أين هو؟ الحقيقة المطلقة غير موجودة.

إذا لم تكن الحقيقة المطلقة ممكنة، فما الذي يتبقى لنا؟ الحقيقة النسبية بالطبع. الحقيقة النسبية لها درجات. قد تقترب من الحقيقة المطلقة وقد تبتعد عنها بعد

المشرقين، فهل هناك مقياس لقرب الحقيقة النسبية من الحقيقة المطلقة؟ نعم، ثابت بلاك مقسوما على كتلة الإلكترون، التي جاءت في مبدأ عدم اليقين لهيزنبرج. هو ثابت بلانك ورانا ورانا؟

هناك شئ يمنعنا من قطف التفاحة من شجرة المعرفة والتهامها بالكامل. المعرفة الكاملة المطلقة، ثمنها الطرد من الجنة. كتب علينا أن نظل دائما في شك وريبة. لن نستطيع التنبؤ بحركة الأشياء مستقبلا بدقة متناهية. لن نستطيع شراء اللحم مشفي. لابد من أخذ شوية عظم معاه. العظام هنا هي الشك وعدم اليقين.

ما معنى هذا كله؟ معناه أن الفيزياء لا يمكنها التنبؤ بدقة. ما بقي لنا هو احتمالات إحصائية. يمكننا التنبؤ بأنه من بين ألف مليون ذرة راديوم، عدة ملايين فقط هي التي ستقوم بالنشاط الإشعاعي.

لكن لا يمكن معرفة منْ مِن الذرات سيقوم بذلك. كما أننا يمكننا التنؤ بعدد الذين يقتلون في حودث السيارات كل عام، لكننا لا نعرفهم بالاسم مسبقا.

لم يكن مبدأ هيزنبرج بالأمر السهل. لم يصدقه الكثير من العلماء في أول الأمر . أينشتاين نفسه، في بادئ الأمر، يقول إن الله لا يلعب النرد. لكن العلماء لم يجدوا مندوحة من قبول مبدأ عدم اليقين.

لكن أين المشكلة يا سادة؟ هل هي في أجهزة القياس أم في طبيعة الإلكترون؟ الميكانيكا الكلاسيكية لم تواجه بمثل هذه المدلهمة العظمى. الميكانيكا الكلاسيكية جعلتنا نضع إنسانا فوق سطح القمر ونعيده سالما. قياس سرعة الصاروخ ومكانه كانت تتم بدقة بالغة بالميكانيكا الكلاسيكية.

هيزنبرج يخبرنا أن المشكلة تكمن في دقة أجهزة القياس المستخدمة. أجهزة قياس عالم الذرة، تختلف عن التلسكوب الذي نستخدمه للنظر لأقمار كوكب المشتري. نحتاج كلاهما بالطبع.

حواسنا لها حدود. لم نر التليسكوب يغير من حركة الأقمار بمجرد النظر إليها. لكن عالم الذرة يفعل ذلك. إرسال شعاع، مهما صغر طول موجته، للكشف عن الإلكترون، يغير من مساره ومكانه وسرعته. مبدأ عدم اليقين يضع حدودا لدقة المشاهدة.

علماء فيزياء آخرون، يقولون: لا. بل المشكلة في الإلكترون نفسه. عالم الذرة له قوانينه الخاصة. لا يتطلب أجهزة لكي يوجد. معادلة دي بروجلي تقول، إن طول موجة الإلكترون لا تعتمد على مكان الجسيم. لذلك، سرعته لا يمكن أن تعتمد على مكانه. فشل الأجهزة، سببه طبيعة موجة الإلكترون.

فمن السبب في الحب، القلب ولا العين؟ هل هو قصور أجهزة القياس، أم طبيعة موجة الإلكترون العصية على القياس؟ بصريح العبارة، يجب لوم الإثنين معا، مناصفة.

الباب السابع

ألاعيب شيحة والقفز من فوق الأسوار

ماذا نريد من أجهزة القياس؟ أولا، إمدادنا بما نريد معرفته. فهي ليس لها رأي خاص بها. إنما تطيع فقط أوامرنا. أجهزة القياس في عالم الذرة، لها جانبان. مدخلات، ومخرجات.

المدخلات، تطيع قوانين الميكانيكا الكمية. أما المخرجات، فتعطينا معلومات بلغة الميكانيكا الكلاسيكية. حتى تفهمها حواسنا. مثلا، نطلب من أجهزة القياس معرفة مكان وسرعة الإلكترون في نفس اللحظة. فتقول لنا الأجهزة: "آسف، لا أستطيع فعل ذلك" لكنني أستطيع أن أدلك على إحداهما فقط.

لقد تساءلنا سابقا، أيهما يستحق اللوم: أجهزة القياس، أم طبيعة الإلكترون. واقترحنا أن يكون اللوم مناصفة. ونسينا لوم أنفسنا. لأننا نطلب معرفة سرعة الإلكترون ومكانه في نفس الوقت، بينما هاتان المعلومتان لا رابط بينهما ولا علاقة من أي نوع.

هنا نجد أحد أعاجيب عالم الذرة. أعجوبة الطبيعة الموجية للجسيمات. باختصار شديد، مقاييس ومفاهيم الميكانيكا الكلاسيكية، والتي تعودنا على استخدامها مئات السنين، لم تعد تصلح لعالم الذرة والجسيمات الدقيقة متناهي الصغر.

فهل معنى ذلك أن الميكانيكا الكلاسيكية لم تعد صالحة للاستخدام الآدمي، مثل معلبات الأغذية والأدوية منتهية الصلاحية، أو فراخ الجمعية الفاسدة؟ ليس بالضبط. مفاهيم الميكانيكا أو الفيزياء الكلاسيكية، لازالت موجودة داخل الميكانيكا الكمية. لكن استخدامها يكون بحذر وحدود. الحدود هنا، هي حدود مبدأ هيزنبرج، مبدأ عدم اليقين.

يمكن اعتبار الإلكترون جسيم، له مكان في هذا الوجود مثلي ومثلك، إذا لم يكن له موجة مصاحبة (موجة دي بروجلي). لكن الموجة تجعل مكان الإلكترون باهتا ممسوحا. لأن مكانه يمكن أن يكون على أي جزء من الموجة، وهذا لا يمكن معرفته.

الإلكترون الساكن، تمتد موجته إلى مالانهاية، أي تصبح غير موجودة. هذا أيضا من معادلة دي بروجلي، عندما نضع فيها السرعة مساوية للصفر. لأن أي مقدار مقسوم على صفر، يساوي مالانهاية. محاولة إيجاد الإلكترون عند مكان معين ستفشل بالتأكيد. حتى لوكانت سرعته كبيرة، سيظل طول موجته أكبر من حجمه، فلا نستطيع تحديد مكانه.

ليس فهمنا للموضع والسرعة فقط، بالنسبة لعالم الذرة، هو الذي قد تغير، ولكن أيضا فهمنا للزمن والطاقة وغيرها.

أنت لا تتخيل مدى صعوبة المشكلة؟ لأنها تخص طبيعة الفهم الإنساني. أي تغيير في مفاهيمنا الأساسية في أي فرع من العلوم، يأخذ وقتا طويلا. خذ على سبيل المثال نظرية التطور لداروين التي ظهرت منذ قرن ونصف من الزمان، لا يزال هناك من يعارضها بشدة ويرفض تصديقها بالرغم من الحجج الدامغة التي تسوقها.

آلاف السنين قد مرت قبل أن يبدأ فهم الإنسان لهذا العالم الذي يعيش فيه وطبيعة الأحياء والجماد وتركيب الذرة وسلوك جسيماتها العجيب. ولنا أن نتخيل كم سيكون فهمنا الحالي للعالم وأنفسنا، بالنسبة لفهم أجيال قادمة بعد عدة قرون قادمة؟

في القرن العشرين، تقدمت المعرفة الإنسانية بخطوات جبارة. ولازالت أبحاث العلماء على قدم وساق للبحث عن عالم جديد وتفسيرات أفضل وفهم أعمق لما يحدث في هذا الكون. لكن الأبحاث والأفكار، بدأت تتزايد في صعوبتها وتتعارض مع بعضها وتستغلق على الفهم. أو كما وصفها أينشتاين يوما: "دراما الأفكار".

تقول لي إن الطبيعة الموجية شئ عجيب؟ انتظر حتى أخبرك بالمزيد من العجائب والغرائب. فلماذا نترك عالم الذرة العجيب، ونذهب للفرجة على ألعاب الحواة والسيرك؟

الهروب من المدرسة بالقفز من فوق الأسوار

الأطفال تقفز من فوق الأسوار للهرب من المدرسة. فماذا يفعل مدير المدرسة، كان يدعى الناظر في أيامنا؟ يقوم بتعلية السور. شئ طبيعي. فيقوم الأطفال بالجري والقفز ، أو بالتسلق على شجرة مجاورة للسور، أو بستخدام سلم خشبي وجد بالصدفة، أو بطريقة ما أو بأخرى.

فيلم السبع أفندي بطولة سعيد أبوبكر

أطفال اليوم لم يعودوا يعتقدون في قصص أمنا الغولة والشاطر حسن. لكنهم مجبرون عندما يكبرون ويواجهون عالم الذرة، على تخيل جسيمات تنفذ من خلال جدران صلبة. مثل فيلم الممثل القدير سعيد أبوبكر، "السبع أفندي". هو أيضا كان ينفذ من الحيطان.

دعنا نفحص حكاية الشعبطة والقفز من فوق الأسوار حتى نصبح خبراء فيه. نعرف أنه كلما انخفض الجسم واقترب من سطح الأرض، كلما قلت طاقة وضعه.

لأن طاقة الوضع، تساوي حاصل ضرب وزن الجسم في ارتفاعه عن سطح الأرض. وأنت واقف على الأرض، طاقة وضعك أقل من طاقة وضعك وأنت جالس فوق السور.

إذا وجدت مصدرا للطاقة، يكون في امكانك القفز من فوق السور. هذا يأتي عن طريق العضلات، أو مساعدة أحد الزملاء. المهم هنا هو زيادة طاقة وضعك. الباقي أمر سهل.

النزول من فوق السور إلى الحرية المنشودة والعالم الوردي، لا يتطلب مشقة. بل العكس. يجب بذل بعض الجهد للتغلب على جذب الأرض للجسم. الآن أصبحت طاقة الوضع، كما كانت من وراء السور قبل القفز. السور في هذه الحالة يسمى "حاجز الوضع".

عالم الذرة، ملئ بمثل هذه الحواجز. المعادن بها العديد من الإلكترونات شبه الحرة، وضعيفة الارتباط بذراتها. لكن بالرغم من حريتها النسبية، لم نسمع بأنها تركت المعدن بمحض إرادتها.

الفكرة هنا هي أن الإلكترون ليس له كامل الحرية. الإرتباط هنا ضعيف. لا يزال الإلكترون مجذوبا بالنواة موجبة الشحنة. الإلكترون يشبه الكرة التي سقطت في حفرة. داخل القطعة المعدنية، يتحرك الإلكترون بسهولة. لكنه لا يستطيع أن يترك القطعة المعدنية، مثل الكرة التي لا تستطيع بمفردها الخروج من الحفرة. لهذا السبب، حالة الإلكترونات في القطعة المعدنية تسمى "بئر الوضع".

محطة متحركة لتوليد الكهرباء من الشمس

ومع هذا، الإلكترونات ليست مربوطة بسلسلة في القطعة المعدنية طول الوقت. في بعض الحالات، يمكنها القفز من فوق السور إلى العالم الخارجي. هذا ما يحدث عند تسليط ضوء بطول موجة مناسبة على سطح معدني. هذه هي فكرة توليد الكهرباء من الطاقة الشمسية.

فوتون الضوء ذو الشحنة المناسبة، يستطيع نزع الإلكترون من حاجز بئر الوضع وإطلاق سراحه. وهو أمر لا يختلف كثيرا عن تسلق الأطفال سور المدرسة والهرب إلى الخارج.

لكن الحاجز، في حالة الإلكترونات داخل القطعة المعدنية، ليس بالضبط مثل سور المدرسة. الحاجز هنا له داخل، وليس له خارج. هو يشبه درجة في سلم العمارة.

بالنسبة للكرة داخل الحفرة، يمكن أن نجعلها تواجه أسوار، إذا قمنا بالحفر حول الحفرة من الخارج. بالنسبة لحالة الإلكترون، يمكننا فعل ذلك عن طريق تسليط مجال كهربي قوي. الآن الحاجز بالنسبة للكرة في الحفرة والإلكترون في المعدن، متشابهان. إلا إن التشابه ينتهي هنا. تذكر هنا سبب المجال الكهربي.

بالنسبة لقوانين نيوتن، الكرة ستظل في الحفرة إلى ماشاء الله، ما لم تؤثر عليها طاقة خارجية. الكرات لا تقفز بنفسها من الحفر هكذا. كما إن الأطفال لا تتسلق الأسوار العالية بدون مساعدة أو بدون قفز باستخدام العضلات.

الميكانيكا الكلاسيكية، تقول بأن الكرة لا يمكنها القفز من الحفرة أبدا. احتمال حدوث هذه المعجزة يساوي صفر. هذا يعني استحالة مطلقة. الآن سنقوم بحل معادلة شرودينجر بالنسبة لألكترون في قطعة معدنية، والقطعة موضوعة في مجال كهربائي. تذكر فائدة المجال الكهربائي. سنفاجأ بأن النتيجة على غير ما كنا نتوقع.

هنا، احتمال خروج الإلكترون من المعدن لا تساوي صفر. أو بمعنى أصح، لا تساوي صفر أبدا. الاحتمال صغير، وقد يكون صغير جدا. لكنه لا يساوي صفرا أبدا.

الإلكترونات يبدو أنها قادرة على التسرب عبر الحاجز، أو النط من فوق السور والهرب إلى الخارج. بعكس تنبؤات الميكانيكا الكلاسية. يبدو أنه هناك قوة خفية، شيطان رجيم مثلا، خرم نفقا، مثل أنفاق غزة على حدودنا، عبر الحاجز لكي يسمح للإلكترون بالتسلل إلى الخارج.

ثم نقوم بسؤال أجهزة القياس، لكن النتيجة غير مشجعة على الإطلاق. نسأل أجهزتنا، كيف تيسر للإلكترون الإسراع والعبور خلال حاجز الوضع؟ هذا عكس قوانين الفيزياء الكلاسيكية التي تربينا عليها. فهل هذا أيضا من تخاريف الميكانيكا الكمية؟

نعرف أن طاقة الكرة في الهواء، تساوي مجموع طاقة الوضع و طاقة الحركة. أي الطاقة المكتسبة من ارتفاعها عن سطح الأرض + الطاقة المكتسبة من سرعتها. لكن الكرة في الحفرة، طاقة وضعها بالسالب. لأنها تحت سطح الأرض. وهي أكبر من طاقة حركتها، لذلك تظل في قاع الحفرة.

لكن الإلكترون، يتسرب من الحاجز. هذا يعني أن طاقة وضعه بلغت الصفر عند الوصول إلى أعلى نقطة في الحاجز. عندها تكون طاقة حركته بالسالب. لأنها دائما أقل من طاقة الوضع.

طاقة الحركة = 0.5 مربع السرعة مضروبا في الكتلة.

طاقة الحركة بالسالب، يعني أن الكتلة كمية سالبة. يادي المصيبة. كتلة جسيم بالسالب شئ لا يمكن فهمه أو تخيله. تخاريف تتفوق على مسرحية محمد صبحي. ولكي نتأكد أن الموضوع تخاريف وهبل أعظم، سنقوم بإجراء تجربة. العلماء شطار في الحكاية دي. أول ما يقابلوا مشكلة أو ورطة، يقومون بإجراء التجارب.

دعنا نراقب الإلكترون. وجدنا الإلكترون وبدأنا في مراقبته. ماذا حدث؟ الإلكترون يقترب من الحاجز الوضعي، لكي نراقب الإلكترون وهو يتسرب من الحاجز، لا بد من معرفة مكانه وسرعته. لكن مبدأ عدم اليقين يمنعنا من معرفة المكان والسرعة في نفس الوقت. وإذا حاولنا إضاءة الإلكترون بالضوء، سيهرب منا ولا نعثر له على أثر. أي طاقة للكشف عنه، سيستخدمها للهرب وتفسد التجربة.

هذا الموقف الذي لا نحسد عليه، يقابلنا كثيرا في عالم الذرة. لكن الميكانيكا الكمية تعطينا نصيحة خالصة لوجه الله، وتقول: يا مولانا، لا تبحث عن الجسيم بجوار الحاجز، لأنك لن تجده. مفهوم تسرب الجسيم في الحاجز الوضعي (الحفرة)، هو شئ خرافي يشبه حكاية أبو رجل مسلوخة في عالم الميكانيكا الكلاسيكية.

لكن يا محترم، الإلكترون من نفسه وبدون مساعدة ينفذ من الحيط، مثل سعيد أبو بكر في فيلم السبع أفندي. السر هنا، وعالم الذرة ملئ بالأسرار، هو الخاصية الموجة للإلكترون. فدعنا نفحص موجة المادة (موجة دي بروجلي) من جديد.

من معادلة دي بروجلي، التي تقول:
طول موجة الجسيم= ثابت لابلانك ÷ كمية الحركة
كمية الحركة = الكتلة x السرعة.

هذا يعني أن سرعته لا تتوقف على مكانه. فلا توجد مسارات في عالم الذرة متناهي الصغر. لا توجد طرق وقضبان سكك حديدية معروفة سلفا تسير عليها المركبات والقطار في أوقات منتظمة.

لكن مكان الجسيم يؤثر في طاقة وضعه، وسرعته تؤثر في طاقة حركته. لذلك لا يمكننا قياس بدقة كلا من طاقة الوضع وطاقة الحركة للجسيم. يبقى لنا الطرق التقريبية في حدود مبدأ عدم اليقين.

الجسيم له مقدار احتمالات معين للخروج من البئر بدون مساعدة خارجية. وله أيضا مقدار احتمال لكي يظل سجينا في الحفرة أو البئر. إذا كان لدينا، على سبيل المثال، 1000 إلكترون. ووجدنا عشرة منهم استطاعت العبور خلال الحاجز. فاحتمال العبور 1%. واحتمال البقاء في الحفرة 99%.

ما دليلنا العملي على ذلك؟ إذا قمنا بتسخين فتيل معدني، فالإكترونات تتركه بكميات كبيرة. هذا لا يحدث إذا كان الفتيل باردا. لكن، ضع الفتيل في مجال كهربائي، تذكر فائدة المجال الكهربائي، ستجد الإلكترونات تتخطى الحاجز وتخرج بكميات كبيرة أيضا. هذا يسمى الإشعاع البارد، وهو دليل واضح على صحة وجود أنفاق في الحاجز، تهرب من خلالها الإلكترونات. الأنفاق في عالم الذرة، ليست خيال علمي، ولكنها حقيقة واقعة.

المعادلات لا تكتب من أجل التسلية، لكن لكي تساعدنا على فك طلاسم الظواهر الطبيعة. معادلة شرودينجر لا تشذ عن ذلك. المعادلات قد تكون بسيطة رقيقة، مثل معدلة أينشتاين التي تساوي الطاقة بالكتلة، أو معادلة دي بروجلي لحساب طول موجة المادة. وقد تكون معقدة، غاية التعقيد.

معادلة شرودينجر، معادلة معقدة غاية التعقيد. لا يستطيع فهمها وحل رموزها إلا المتخصصين. قمت بدراستها في كلية العلوم في السنة النهائية قبل التخرج. تستخدم المعادلات التفاضلية الجزئية، وهي فرع هام متقدم من الرياضيات التطبيقية. شرحها بالتفصيل، يخرج عن نطاق هذا الشرح المبسط للفيزياء الحديثة ونظرية الكم. لكن يكفي أن نقول هنا أن مثل هذه المعادلات، تصف العلاقة بين كميات متغيرة بالنسبة للمكان والزمان.

الكميات المجهولة (المجاهيل) في هذه المعادلات، تصف العديد من الحالات. ربما حالة سطح سائل في أنبوبة، أو أبعاد قمر صناعي في الفضاء، أو موجات راديو تنبعث من محطة إرسال إلى جهاز استقبال، إلخ. العلاقات بين هذه الكميات المجهولة، يسميها علماء الرياضيات "الدوال"، جمع "دالة".

المجهول في معادلة شرودينجر هو "دالة الموجة". معناها بالضبط، لا يزال غامضا غير واضح للعلماء، بالرغم من آلاف الاستخدامات الناجحة لها. لكن هناك شئ واحد، يتفق الجميع عليه. هو، إن مربع دالة الموجة، يعني قيمة احتمالية.

من دالة الموجة، يمكن أن نجد القيمة المناظرة لظهور جسيم في مكان معين في وقت معين. هذه القيمة الاحتمالية، هي نفسها "الموجة الاحتمالية" التي ناقشناها سابقا والتي تقود الإلكترونات لعمل حلقات التداخل.

لكي نقوم بحل معادلة شرودينجر في الحالة العامة، عملية في منتهي الصعوبة. لكن هناك حالات خاصة، تجعل الحل أمرا ميسورا. أحد الحلول الخاصة، هو عندما نعتبر أن دالة الموجة تتذبذب حول قيمة معينة لا تتغير مع الزمن. وتعرف بالحالة الساكنة.

لحسن الحظ، هذه الشروط، تنطبق على الذرات والجزيئات والبلورات وأشياء أخرى كثيرة. كلها تتميز بالاستقرار. لذلك يمكننا استخدام الحالة الساكنة لمعادلة شرودينجر لهذه الأشياء والحصول على نتائج باهرة.

حل معادلة شرودينجر، يستخدم الآن في العديد من التطبيقات، في: الفيزياء، في الكيمياء. وكذلك في تطبيقات هندسية مثل: المواصلات الكمية، فيزياء الجوامد، أشباه الموصلات، الكيمياء الكمية، البصريات، الصوتيات تحت الماء، إلخ.

الباب الثامن

الإلكترون سحابة حول النواة

لا يوجد فرع من فروع الفيزياء، في تاريخها الطويل، شاهد تطورا سريعا مثل الميكانيكا الكمية. بعد ظهور فكرة دي بروجلي عن الموجة المادية، كانت المعادلات الرياضية والأجهزة الخاصة بالميكانيكا الكمية تعمل على قدم وساق لدراسة التفاصيل واستيعاب النتائج.

في عام 1928م، أصبحت الميكانيكا الكمية صرحا شامخا. صارت علما ناضجا، له أساسياته وتفريعاته وقوانينه. لا يقل في رصانته وصلابة بنيانه عن الميكانيكا الكلاسيكية.

الميكانيكا الكلاسيكية، أخذت مئة عام لكي تبلغ أوجها، بينما الميكانيكا الكمية، لم يتطلب الأمر سوى خمس سنوات. تلك كانت سرعة خطى التقدم العلمي في القرن العشرين.

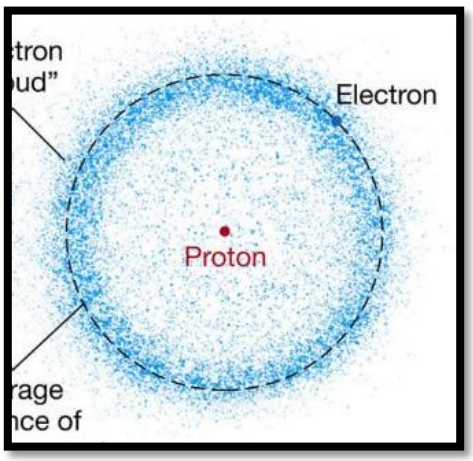
مثل السيل الجارف، الذي يتخطى الحدود والسدود، يفيض ليغمر ربوع الوادي. كذلك كانت الميكانيكا الكمية، بعد خمس سنوات. أصبحت لها تفسيراتها وتطبيقاتها الجديدة. أول من استفاد من أبحاث الميكانيكا الكمية، هو عالم الذرة متناهي الصغر.

الفيزياء الجديدة، عن طريق بلانك وبور، بدأت بالذرة. الذرة كانت أول موضوع عالجته الميكانيكا الكمية. البداية، هي تصور جديد لتركيبة الذرة. بور قدم لنا مدارات الإلكترون حول النواة. وهو تصور يتفق تماما مع الفيزياء الكلاسيكية.

الميكانيكا الكمية، لا تتعامل مع المدارات. إنها ترفضها بصراحة ووضوح. المدار، هو في الواقع مسار لحركة الإلكترون حول النواة. طريق سريع للمركبات أو خط سكة حديد يسير عليه القطار. لكن الميكانيكا الكمية، تقول لنا بصريح العبارة، إن المسارات في عالم الذرة، ليس له معنى أو مبنى.

إذا كان مسار الإلكترون حول النواة، مجرد كلام فارغ، فما هو البديل؟ الموجود هو توزيعات احتمالية لوجود الإلكترون في مكان ما حول النواة. نحن نعرف أن طاقة الإلكترون في الذرة، تتحدد ببعده عن النواة. إذا كان مسموحا له بحمل عدد معين من الطاقات، فكل طاقة يحملها، يناظرها مسافة معينة من النواة.

لكننا يصعب علينا التخلي عن فكرة مسار الإلكترون حول الذرة. إنها فكرة تسهل علينا فهم تركيبة الذرة وتشبيهها بالمجموعة الشمسية ودوران كواكبها حول الشمس.

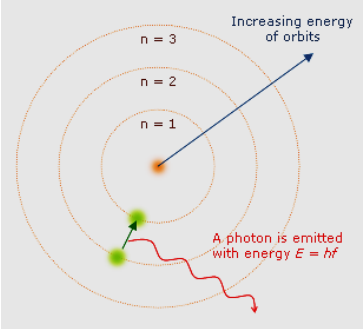


هنا تقول لنا الميكانيكا الكمية: حسنا، إذا كنت معجبا بفكرة المدارات، احتفظ بها. ارسم بالقلم الرصاص خطا يمر بالنقاط التي عندها يكون احتمال وجود الإلكترون أكبر ما يمكن. واعتبر هذا الخط، هو مدار الإلكترون.

لكن لا يجب أن تنسى أن الإلكترون ليس نقطة. موجته تجعله ينصهر ويسيح، وبذلك يصبح المدار من أساطير الأولين التي لا نريد التخلي عنها.

هنا لا يسعنا إلا شكر رجال الميكانيكا الكمية. ونقوم برسم مدار الإلكترون. ونعجب جدا بشكله على الورق. ثم تقول لنا الميكانيكا الكمية: هل تعرف ماذا يجعل هذه المدارات ملفتة للنظر؟

هو أنها تمثل عدد من موجات دي بروجلي، مرسومة فوق بعضها. المدار الأول والقريب من النواة، به موجة واحدة. المدار الثاني، به موجتان. الثالث به ثلاث موجات، وهكذا. مما يثبت خطورة موجة دي بروجلي وعالميتها.

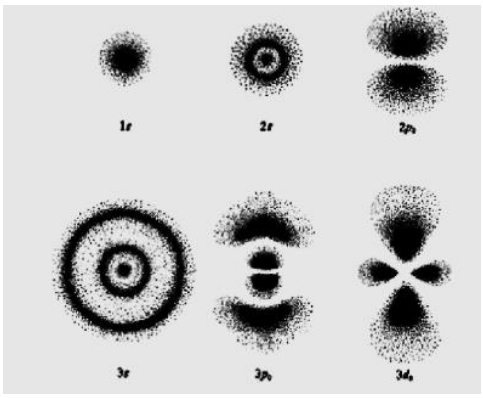


المدارات تمثل عدد موجات بروجلي

تصورنا لمدارات الإلكترون شئ جميل، لكنها لا توجد في الواقع. بدلا من وجود إلكترون في المدار، تصور سحابة احتمالات. السحابة تزداد كثافة، مع زيادة احتمالات وجود الإلكترون، وترق وتقل كثافة مع نقص الاحتمالات.

لا تنس أن هذه السحب لا يمكن تصويرها، فلا يمكن التغلب على مبدأ عدم اليقين لهيزنبرج. هي مجرد سحب لتوزيعات احتمالية لمكان الإلكترون. لا أكثر ولا أقل.

سحب الإلكترون حول النواة، لها عدة أشكال مختلفة. بعضها في شكل كروي. وبعضها مستطيل، أو في شكل الفراشة. السبب في تنوع الأشكال، هو أن الإلكترون لا يعتمد فقط على المسافة بينه وبين النواة.


سحب الإلكترون بأشكالها المختلفة

فمثلا، ذرة غاز الهيدروجين، هي أبسط الذرات بناء. تشبه في بساطتها العلم الياباني. تتكون من إلكترون واحد سالب، يتواجد في مجال النواة الموجبة الشحنة . التفاعل هنا بين شحنتين مختلفتين، لكن متساويتين في المقدار.

هنا التفاعل يعتمد فقط على المسافة بين الإلكترون والنواة. لهذا يكون شكل سحابة الإلكترون، بالنسبة لذرة الهيدروجين، في شكل كروي. كل نقطة على سطح الكرة، تبعد نفس المسافة عن النواة. لذلك، كل نقط السحابة لها نفس طاقة الإلكترون.

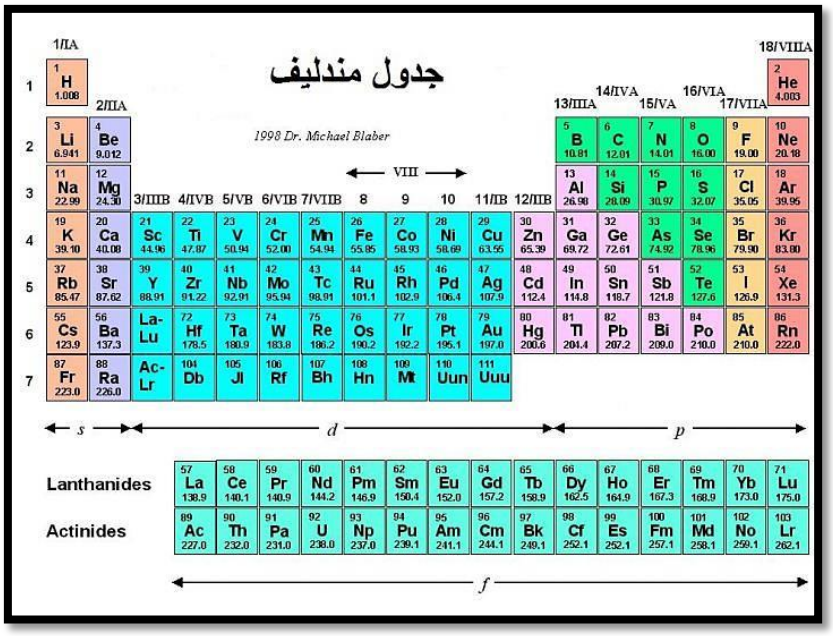
لكن في حالة أكثر من إلكترون واحد في الذرة، صورة التفاعل الكهربائي بينها وبين النواة ليست ببساطة ذرة الهيدروجين. الإلكترونات لا تتجاذب فقط مع النواة المختلفة الشحنة، ولكن تتنافر أيضا مع بعضها.

في الذرات معقدة التركيب، كل الإلكترونات تتجاذب نحو النواة، وتتنافر وتتشاجر مع أخواتها الإلكترونات. لكن الطبيعة تعالج هذا التوتر والعراك بحكمة، وتفرض النظام والامتثال بين العائلة الواحدة. سحابة الإلكترونات لها أشكال معقدة. تتداخل مع بعضها بزوايا مختلفة.

سحابة الإلكترونات قد تشبه الكرة، الحلقة، حرف ثمانية بالانجليزي، شرنقة دودة القذ، شكل الفراشة برأس وجسم وجناحين أو أربعة أجنحة، شرنقتان ملتصقتان، إلخ.

دعنا نلقى نظرة على تركيبة الذرة هذه، المتناهية الصغر، والتي تعتبر أعجوبة الأعاجيب في هذا الكون. مواد البناء هي إلكترونات ونواة. الاسمنت الذي يربط الإلكترونات مع النواة، هي قوة الجذب بين الإلكترون سالب الشحنة والنواة موجبة الشحنة. الشحنات المختلفة تتجاذب، والمتشابهة تتنافر.

لكن كيف قامت الطبيعة بالتخطيط لبناء هذه الذرات المختلفة؟ أولا يجب إلقاء نظرة على الجدول الدوري للعناصر الكيميائية، المعروف بجدول مندلييف، 1869م. هو عبارة عن جدول لترتيب العناصر الكيميائية، 118 عنصر حتى الآن. ثلاثة منها غير مؤكدة، وعشرون مصنعة. الباقي من صنع الطبيعة. كل منها له بناء خاص به.



نواة الذرة تتكون من نوعين من الجسيمات الصغيرة تسمى بروتونات ونيترونات. البروتون له شحنة موجبة تعادل شحنة الإلكترون السالبة. والنيترون متعادل الشحنة. كتلة النيترون تزيد قليلا عن كتلة البروتون. وكتلة البروتون تعادل 1836 ضعف كتلة الإلكترون. وهو رقم يذكرنا بالسنة التي أنشأ فيها محمد علي باشا والي مصر مدرسة الألسن وأوكل نظارتها لرفاعة بك الطهطاوي. (حدث عظيم يجب أن نتذكره جميعا)

كم عدد البروتونات والنيترونات والإلكترونات في الذرة؟ هذا يتوقف على نوع العنصر الذي نتكلم عنه. بعض العناصر مثل غاز الهيدروجين، ذرته بسيطة التكوين ومكونة من: بروتون واحد في النواة، وإلكترون واحد. ذرات بعض العناصر معقدة التركيب، مثل ذرة اليورانيوم.

اليورانيوم عنصر ثقيل، أثقل من الذهب. يوجد نوعان أو نظيران منه في الطبيعة.

اليورانيوم 235، واليورانيوم 238. اليورانيوم 235، يرمز له بالرمز U-235. هو مكون من 92 بروتون و143 نيترون و 92 إلكترون. أما اليورانيوم 238، ورمزه U-238، فيتكون من 92 بروتون و146 نيوترون و92 إلكترون.

كل ذرة لها رسم هندسي خاص بها. لكن هذه الرسوم الهندسية تتبع نمط واحد في البناء. مبدأ تم اكتشافه عن طريق العالم النمساوي وولف جانج باولي أثناء سنوات تطور الميكانيكا الكمية.

مبدأ باولي يقول: "في أي تجمع لجسيمات الذرة الدقيقة، كل مجال طاقة مسموح به، لا يمكن شغله إلا بجسيم واحد."

لقد وجد فيما بعد أن هذا المبدأ لا ينطبق على بعض جسيمات الذرة الدقيقة. لكننا هنا لا نتكلم عن الحالات الخاصة. أما في حالة الإلكترون، فالمبدأ سليم لا اعوجاج فيه.

الآن، لدينا إلكترونات تتجمع في الذرة. ذرة أخرى فيها تجمع آخر مختلف. لكن في كل الذرات، الإلكترونات هي نفسها الإلكترونات بالضبط. يعني لا يوجد إلكترون كبير وآخر صغير. كلهم زي بعض، بخلاف البطيخ والعجور مثلا.

النحلة الخشب تدور حول محور

سنتوقف هنا برهة، مع كوب من الشاي، للحديث عن خاصية اللف المغزلي للإلكترون. سنتحث عن اللف المغزلي للإلكترون لاحقا بالتفصيل. لكن يكفي هنا القول بأن اللف المغزلي للإلكترون شئ غير مفهوم من وجهة نظر الميكانيكا الكلاسيكية. مكتشفو اللف المغزلي للإلكترون كانوا يعتقدون بسذاجة أنه يعني دوران الإلكترون حول محوره، كما يدور المغزل أو النحلة الخشب التي كنا نلعب بها ونحن أطفالا.

الأرض تدور حول الشمس. وهي أيضا تدور حول نفسها. لذلك نتوقع أن يدور الإلكترون حول النواة، ويمكن أن يدور حول نفسه أيضا. فهل هذا صحيح؟

لكن، هل الإلكترون حقا يدور حول النواة؟ كلا، بالتأكيد. حركة الإلكترون في الذرة أكثر تعقيدا، وليست بهذه البساطة. تخيل الإلكترون وهو يدور حول النواة هو تشويه لطبيعة الأشياء.

هل الإلكترون يدور حول نفسه كالمغزل؟ لاشئ أبعد عن الحقيقة من ذلك. حاول أن تعرف ما معنى محور الإلكترون الذي يدور حوله. الميكانيكا الكمية لا تعتبر الإلكترون كرة يمكن أن تدور حول نفسها، بل مجرد نقطة (وهذا أيضا غير حقيقي كما سيتضح فيما بعد).

النقطة ليس لها محور يمكن أن تدور حوله. المشكلة هنا أننا لا نستطيع تخيل أو تصور لف الإلكترون حول نفسه كالمغزل. نحن أيضا لدينا صعوبة في تصور الموجة المصاحبة للجسيمات (الإلكترون)، والجسيمات المصاحبة للموجة (فوتونات الضوء). هذه يا حضرات ميكانيكا الكم.

لكن اللف المغزلي للإلكترون داخل الذرة معروف. وهو مقدار لا يتوقف على قرب أو بعد الإلكترون من النواة، حتى لو كان الإلكترون حرا طليقا في الفضاء الرحيب. اللف المغزلي للإلكترون. مقدار لا يتغير، يرافق الإلكترون على الدوام، ويصاحبه أينما يذهب.

اللف المغزلي لإلكترون في ذرة ما، يمكن أن نضيفه إلى كمية الحركة الزاوية للإلكترون (كمية الحركة حول النواة)، ويمكن أيضا أن نطرحه منها. اللف المغزلي يجعل للإلكترون مجالا مغناطيسيا. واللف يكون مع عقارب الساعة، أو عكس عقارب الساعة. أي شئ له شحنة ويدور يخلق مجالا مغناطيسيا.

لذلك اللف المغزلي له قيمتان فقط: (0.5) ، (-0.5). ويرمز لهما أحيانا ب: "فوق"، "أسفل".

كمية حركة الإلكترون الكلية = كمية حركته الزاوية + كمية حركته المغزلية.

حكاية اللف المغزلي للإكترون الذي له قيمتان متساويتان، واحدة موجبة والأخرى سالبة، تجعلنا نضع 2 إلكترون في نفس السحابة دون الإخلال بمبدأ باولي.

إلى هنا وأرجو أن لا يكون القارئ العزيز قد تاه مني وغلبه النعاس أو أصابه الصداع. لكن أعده بأن يكون القادم أسهل وأخف على القلب.

دعنا الآن نبحث تركيبة بعض الذرات لعناصر مختلفة.

ذرة الهيدروجين. ذرة بسيطة التكوين جدا، وكما قلت سابقا، مثل العلم الياباني. تتكون من سحابة إلكترون واحدة ونواة مكونة من بروتون واحد. السحابة بها إلكترون واحد.

ذرة الهيليوم. بسيطة التركيب أيضا. بها سحابة ضعف كثافة سحابة ذرة الهيروجين. بها 2 إلكترون بدلا من واحد. السحابة أقرب بعدا للنواة من حالة ذرة الهيدروجين.

ذرة الليثيوم. بها سحابتان. الأولى والقريبة من النواة مثل سحابة ذرة الهيليوم. هذا أمر طبيعي لأن مبدأ باولي لا يسمح بكثر من 2 إلكترون في السحابة الواحدة. الساكن الجديد عليه أن يسكن في الطابق العلوي. الإلكترون الثالث يكون سحابة بمفرده بعيدا عن النواة.

ذرة الكربون. السحابة الأولى من جهة النواة يسكنها 2 إلكترون، الثانية يسكنها 2 إلكترون، الثالثة أيضا 2 إلكترون. وهكذا.

الملاحظ هنا هو توزيع السحب حول النواة بحيث لا يحدث تنافر بين الإلكترونات. لأن الشحنات المتشابه تتنافر. هذا أفضل طريقة لتوزيع الطاقة ممكن. تنافر الإلكترونات يزيد من طاقة حركة الذرة ويجعلها غير مستقرة.

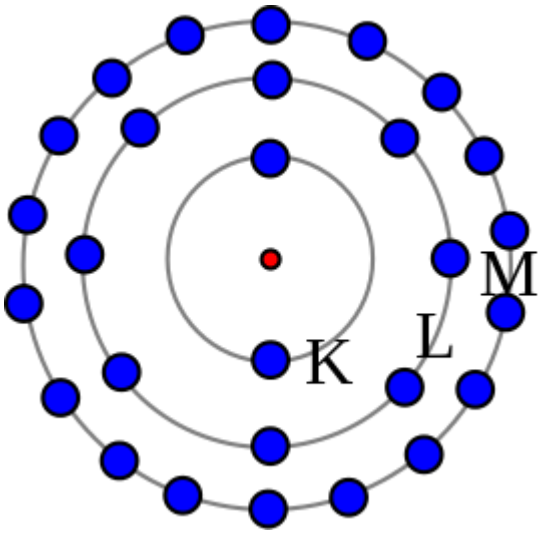
لكن الطبيعة تميل للاستقرار. أكثر الذرات استقرارا هي أقلها طاقة حركة. الوقوع من على الكرسي ليس بالأمر الظريف. لكنك تكون أكثر استقرارا وأنت منبطح على الأرض.

تعاملنا حتى الآن مع مبدأين لهندسة بناء الذرة. مبدأ باولي، ومبدأ التوزيع الأمثل للطاقة، الذي يضع الإلكترونات في أكثر من سحابة، بدلا من جمعها كلها في سحابة واحدة.

بدلا من المدارات، نحن الآن نتكلم عن سحب كهربائية إحتمالية للإلكترون. هل هذا كل ما في الأمر؟ كلا، هناك المزيد. موجة دي بروجلي بالنسبة للذرة، لها خاصية أخرى. إنها تساعدنا على فهم بناء الذرة الداخلي.

سحابة الإلكترون حول النواة، تستوعب عددا كاملا من موجات دي بروجلي. بدون كسر. فيالها من موجة. ولأهميتها، سأعيد التذكرة بها. موجة دي بروجلي هي الموجة المصاحبة لأي جسم يتحرك، كبر أم صغر. طول الموجة = ثابت لابلانك مقسوما على كمية الحركة. ليس هناك ما هو أبسط أو أجمل من ذلك.

اتحاد سحب الإلكترون، يطلق عليه "الغلاف". سعة الغلاف تمثل أكبر عدد ممكن من الإلكترونات داخل الغلاف(N). سعة الغلاف لها علاقة بنمرة الغلاف أو رقمه بالنسبة لموقعه من النواة (اللوحة المعدنية له، مثل رقم السيارة). سعة الغلاف تمثل عدد موجات الإلكترون الكاملة داخله (موجات دي بروجلي). رقم الغلاف هو (n).



توزيع الإلكترونات حول النواة

العلاقة بين سعة الغلاف ورقم الغلاف هي.

سعة الغلاف= ضعف مربع رقم الغلاف. وبلغة الجبر:

N = 2 x مربع n.

كيف نطبق هذا الكلام؟

سعة الغلاف الأول ويسمى K = 2 x (1 x 1) = 2

سعة الغلاف الثاني ويسمى L = 2 x (2 x 2) = 8

سعة الغلاف الثالث ويسمى M = 2 × (3 × 3) = 18 ، وهكذا.

الغلاف الأول، هو أقلها سعة، الغلاف K. في ذرة الهيليوم، الغلاف ممتلئ عن آخره. هذه الذرة مكونة من شقة دور أرضي يسكن فيها إثنان.

الغلاف الثاني، أكثر تعقيدا. لا يشغل فقط الدور الثانى، ولكن له طوابق داخلية ثلاث لا تظهر في الشكل المبين. يسكن في كل منها اثنان. المجموع 8.

الغلاف الثالث. يسكنه 18 شاغل. يشغل الطابق الثالث، وثلاثة داخلية، وخمسة طوابق أخرى داخلية، لا تظهر في الشكل المبين. في كل منها إثنان. الناتج 18 شاغل. وهكذا.

الباب التاسع

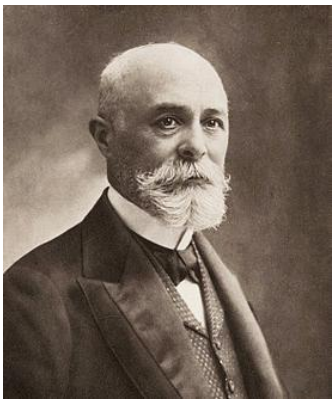
الغوص في أعماق الذرة

الآن سنصاحب الميكانيكا الكمية في رحلة إلى الأعماق، إلى قلب الذرة، إلى نواتها. لايزال عالم الذرة مليء بالغرائب والعجائب. فمن أين نبدأ؟ سنبدأ من البداية، لكي نحكي الحكاية من أولها.

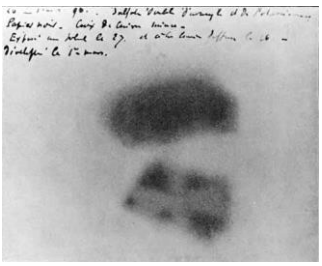
في القرن العشرين، لم يكن أحد يتخيل من علماء الفيزياء الوصول إلى ما وصلوا إليه من أسرار عالم الذرة. كانوا علماء يتملكهم حب الاستطلاع، لا أكثر ولا أقل. إذا كنت تعتقد بأن الإلكترون أمره عجب، فانتظر حتى تري بعضا من أسرار النواة.

في ذلك الوقت، كانت الميكانيكا الكمية تحتفل بانتصارها المجيد في أول غزوة من غزوات عالم الذرة. لكن لم يكن معروفا لنا أي شئ عن القلب الداخلي للذرة المسمى بالنواة. المعروف كان مجرد معلومات بدائية غير دقيقة، لكن سنبدأ بها على أي حال.

في نهاية القرن التاسع عشر، وجد الفرنسي "هنري بيكيريل" عن طريق الصدفة البحتة، أن بعض المواد لها تأثير ضوئي على اللوحات الفوتوغرافية (أفلام تصوير).



هنري بيكيريل



تأثير بعض المواد المشعة على اللوح الفوتوغرافي

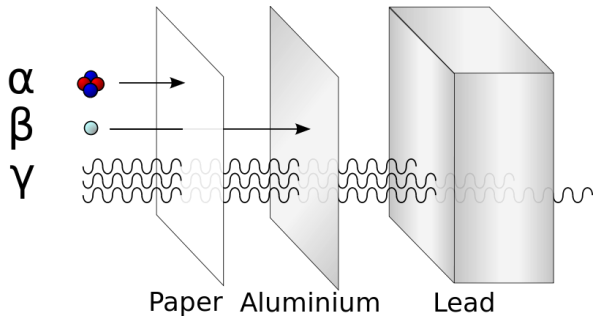
ماري وبيير كوري

بعد ذلك الاكتشاف، جاءت ماري وزوجها بيير كوري ليكتشفا أن هذا بسبب إشعاع يصدر من ثلاثة عناصر كيميائية، هي الراديوم، البولونيوم، واليورانيوم. هي معادن مثل النحاس أو الرصاص، لكنها أثقل وتقع في آخر جدول مندلييف لترتيب العناصر الكيميائية. فضلا عن كونها تشع أضواء. أو كما نقول بالبلدي، "تنور في الضلمة". شغل عفاريت.

لا يا محترم، هذا ليس شغل عفاريت، وإنما اسمه العلمي إشعاع. لكنه إشعاع أصاب علماء الفيزياء بالحيرة والإحباط. بحثوا في كتبهم ودفاترهم الخاصة بالفيزياء الكلاسيكية فلم يجدوا له أي تفسير أو سبب.

لكن مجتمع العلماء مليء بالعناد والفضول. لازم يعرفوا إيه الحكاية. ليه وفين وبكام ومتى وأين؟ التجارب أثبتت أن هذا الإشعاع، ليس نوعا واحدا، وإنما ثلاثة أنواع. النوع الأول، أشعة ألفا، والثاني أشعة بيتا، والثالث أشعة جاما. ألفا وبيتا وجاما، هي ألف باء تاء الحروف اليونانية.

دراسات أخرى أثبتت أن:



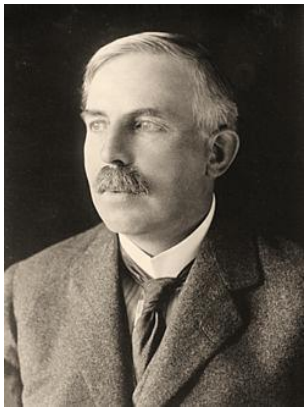
أشعة الفا وبيتا وجاما وقدرتها على الاختراق

أشعة ألفا: تتكون من جسيمات موجبة الشحنة الكهربائية. أشعة ألفا، عبارة عن جسيمات. جسيم ألفا تبلغ شحنته ضعف شحنة الإلكترون، لكنه موجب الشحنة. أما

الإلكترون، فهو سالب الشحنة. كتلة جسيم ألفا تبلغ أربعة أضعاف كتلة ذرة الهيدروجين. مكونة من 2 بروتون + 2 نيترون.

أشعة بيتا: لا تختلف بالمرة عن الإلكترونات سالبة الشحنة.

أشعة جاما: عبارة عن إشعاع كهرومغناطيسي مثل الضوء، لكنه قوي جدا، متعادل الشحنة، له قدرة كبيرة على اختراق الأجسام. تعادل قوة نفاذ أشعة جاما أضعاف الأشعة السينية. تسبب أضرارا بالغة للأحياء إذا لم تستخدم بعناية. الغلاف الجوي يحمينا منها.



راذرفورد

بعد ذلك بعدة سنوات، بينما كان العالم الانجليزي راذرفورد يعمل مع تلميذه بور الدينماركي، قدما لنا نموذجا لتركيبة الذرة يشبة تكوين المجموعة الشمسية. النواة في الوسط، والإلكترونات تدور حولها. وبالتدريج، بدأ العلماء يكتشفون أن الإشعاع الغامض الذي نتكلم عنه، يأتي من نواة الذرة.

فمن أي جزء من الذرة تأتي أشعة ألفا موجبة الشحنة؟ لابد أنها تأتي من النواة. لا يوجد مكان آخر به شحنة موجة إلا النواة. النواة تحتوي على معظم كتلة الذرة.

من أي مكان في الذرة تأتي أشعة بيتا؟ الإلكترون خفيف جدا تقترب كتلته من المفيش. كلمة مفيش دي غير علمية، لكنها تعطيك فكرة عن كتلة الإلكترون الصغيرة جدا. كما إن الإلكترون يوجد في الغلاف أو القشرة الخارجية للذرة.

في بعض الأحيان، نجد فوتونات. مفردها فوتون، وهي فتافيت الطاقة الهرومغناطيسية (الضوء). هذه الفوتونات، تتطاير من الغلاف أو القشرة الخارجية للذرة. ربما تكون أشعة بيتا وجاما، هي الأخرى طاقة كهرومغناطيسية مثل الضوء، وتدخل في تركيب الذرة.

لا، هذا مستحيل. عندما تشع الذرة أشعة بيتا، لا تتأين. بمعنى أنها لا تصبح موجبة الشحنة، لأنها فقدت شحنات سالبة من الغلاف الخارجي. دراسات أخرى على طاقة الإلكترون، أثبتت أنها جزء ضئيل لا يقارن بطاقة أشعة جاما. هذا يدل على أن بيتا وجاما، هما أيضا يأتيان من النواة. كل أنواع الأشعة الثلاث، تأتي من النواة، ولا شئ غير النواة.

مرت السنون. ثم جاء راذرفورد ليضع في طريق أشعة ألفا أنوية عنصر النيتروجين. قام بتسجيل تصادم أشعة جاما بأنوية النيتروجين على ألواح فوتوغرافية. فماذا وجد؟

عند فحص ألواح التصوير الفوتوغرافي للتصادم، وجد راذرفورد آثار أنوية غاز الأكسوجين. حلم البشرية في تحويل النحاس إلى ذهب يمكن تحقيقه. تحويل العناصر الكيميائية إلى عناصر أخرى أمكن تحقيقه بالتجربة. لكن ليس بالطرق الكيميائية المعروفة.

في نفس السنة، اكتشف راذرفورد أن نواة العنصر الواحد، قد يكون لها كتلات (جمع كتلة) مختلفة. الفرق بين هذه الكتلات للعنصر الواحد، عبارة عن مضاعفات كتلة ذرة الهيدروجين. الكتلات المختلفة هذه تسمى نظائر العنصر.

الآن لدينا إشعاع وتحول للعناصر، ثم نظائر لنفس العنصر. هذا هو أفضل وقت للنظر في بناء نواة الذرة. خصوصا أن لدينا الآن الميكانيكا الكمية التي ثبت نجاحها. وهي بالطبع لن ترفض النصيحة.

لكن علماء الفيزياء لم يكونوا في عجلة من أمرهم. ظلوا واقفين على أطراف الغابة، يخافون الغوص في أعماقها. لم يكونوا مستعدين لتعريض طفلهم الوليد، الميكانيكا الكمية، لتقلبات الطقس في البيئة الجديدة. كانوا ينتظرون طريقا ممهدا واحدا على الأقل، يمكن أن يسيروا فوقه. في عام 1932م، تم اكتشاف النيترون عن طريق تشادويك الانجليزي. الآن يمكنهم البدء في المسير.

الشي الذي لم يكن واضحا في ذلك الوقت هو تركيبة النواة. نحن نعرف بالتجربة أنها ليست جسما صلبا لا يتفتت. واضح أنها تتكون من أجزاء. بدليل أنها تشع جسيمات، ألفا وبيتا وجاما، ومع ذلك تظل موجودة. بالإضافة إلى أن جسيما من جسيمات النواة تم اكتشافه، وهو البروتون.

بيت القصيد هنا، هو أن النواة تتكون من جسيمات، تظهر في النشاط الإشعاعي لبعض العناصر، مثل جسيمات ألفا والإلكترونات. فهل هذا التخمين في محله؟

جسيمات ألفا لها نفس خواص أنوية ذرات الهيليوم. فهل نواة الهيليوم هي مادة البناء الأولية للنواة التي نبحث عنها؟ ولماذا لا يكون بدلا منها، نواة ذرة الهيدروجين، الأخف والأبسط تركيبا؟

الآن يمكننا بناء نموذج للنواة. كما يجب مراعات أن شحنة النواة الكهربائية تكون موجبة، لكي تعادل الشحنات السالبة لكل الإلكترونات الموجوده في الذرة. هذا حتى نضمن أن تظل الذرة محايدة الشحنة.

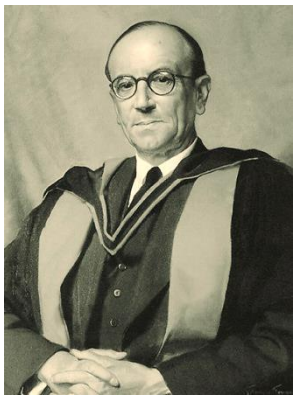
نفترض أن النواة تتكون من بروتونات وإلكترونات فقط، (وهو فرض سيتضح خطأه فيما بعد).

كل شئ يبدو أنه على ما يرام. لكن في الظاهر. صحيح فقط بالنسبة للأنوية الخفيفة. لكن بمجرد ذهابنا للأنوية متوسطة أو معقدة التركيب، ينهار كل شئ. لابد من وجود شئ خاطئ في تصورنا لتركيبة النواة.

الإلكترونات التي نفترض وجودها في النواة، والتي تظهر في الإشعاع، لها من وجهة نظرنا وظيفتان: الوظيفة الأولى هي جعل الذرة ككل متعادلة. الوظيفة الثانية، هي جعل البروتونات تتماسك وتتغلب على قوة التنافر فيما بينها. لأن الشحنات المتشابهة تتنافر.

لكن الحسابات على الورق تتطلب عددا أكبر من الإلكترونات لأداء هذه الوظيفة. هناك مشاكل أخرى سنذكرها فيما بعد لهذا التصور. الآن بدأ الشك يتسرب لفكرة أن النواة تتكون من بروتونات وإلكترونات فقط.

بينما نحن في حيرة من أمرنا بالنسبة لتركيبة النواة، إذا بالنيترون يهل علينا بطلعته البهية عام 1932م. وهو جسيم يوجد في كل أنوية الذرات فيما عدا ذرة الهيدروجين. كتلته تساوي كتلة البروتون تقريبا، ومتعادل الشحنة.


شادويك مكتشف النيترون

لا يستطيع العيش خارج النواة أكثر من 15 دقيقة تقريبا، بعدها يتحلل إلى بروتون وإلكترون. له دوران مغزلي حول نفسه، مثل البروتون والإلكترون. اكتشفه جيمس شادويك، عالم الفيزياء والحاصل على جائزة نوبل.

إذن النواة تتكون من بروتونات ونيترونات، ولا وجود للإكترونات بداخلها. كل مرة يضاف بروتون إلى النواة، يضاف نيترون حتى لا تتحطم النواة من قوى التنافر بين البروتونات. النيترونات متعادلة الشحنة، لا يوجد تنافر بينها.

بالنسبة للعناصر الخفيفة، عدد البروتونات يساوي بالتقريب عدد النيترونات. بعد عنصر الكالسيوم في جدول مندلييف لترتيب العناصر، نجد تزايد عدد النيترونات عن عدد البروتونات في الذرة الواحدة. ذرة اليورانيوم 238، بها 92 بروتون و146 نيترون.

عدد البروتونات ثابت بالنسبة للعنصر الواحد، لكن عدد النيترونات قد يختلف من ذرة إلى ذرة بالنسبة للعنصر الواحد. النتيجة هي كرنفال النظائر المختلفة للعنصر الواحد. العنصر إذا غير عدد البروتونات بالزيادة أو بالنقصان، تحول إلى عنصر آخر مختلف تماما. أما إذا غير عدد النيترونات، فيبق نفس العنصر ولكن يعتبر نظير مختلف.

لكن لماذا قمنا باستبدال الإلكترون بالنيترون في تركيبة النواة؟ الإلكترون يستطيع على الأقل أن يحافظ على تماسك النواة بما له من قوى جذب بينه وبين البروتونات الموجبة، لأن الشحنات المختلفة تتجاذب. فكيف تيسر للنيترون وهو متعادل الشحنة القيام بهذه الوظيفة؟

ثم نكتشف هنا أن قوى الجذب والتنافر الكهربائية، غير كافية لتماسك جسيمات النواة. النواة بنيان صلب عنيد متماسك كالاسمنت المسلح الغير مغشوش. جعلها تتحمل كميات ضغط وحرارة ومجالات كهربائية رهيبة دون أن تنهار أو تتفسخ.

لابد هنا سر دفين في وجود النيترونات داخل النواة؟ فهي لا تتواجد خارج النواة ولا تستطيع البقاء أكثر من 15 دقيقة قبل أن تتفسخ. إذن النيترونات هي الاسمنت المسلح الذي يبقي البروتونات المتنافرة والمتناحرة مع بعضها داخل النواة، بالرغم من كون النيترونات متعادلة الشحنة الكهربائية.

ظل علماء الفيزياء النظرية يبحثون هذه المشكلة لمدة سنتين بعد اكتشاف وجود النيترون في النواة. ثم جاء عالمان، "تام" الروسي و "ياكاوا" الياباني، بفكرة عبقرية تقول بوجود قوة شديدة جدا نووية، تعمل على مسافات قصيرة جدا، تجعل البروتونات والنيوترونات تتبادل قوى الجذب مع بعضها.

نحن نعرف أن الذرات لا تحب الوحدة. الوحدة صعبة. فنجد غاز الهيدروجين على سبيل المثال، تتحد كل ذرتين لكي يكونان جزيء من الهيدروجين. وذرة كلور تتحد مع ذرة صوديوم لكي تكون جزيء من ملح الطعام.

فما يجعل الجزيء يتماسك؟ الجزيء يتماسك لأن الذرات المكونة له تتبادل الإلكترونات على الدوام. مثل تبادل الزيارات والهدايا بين الجيران، تزيد من روابط الود والحبة بينهم. تبادل الكعك والبسكويت في العيد مع الجيران يزيد الحب والألفة بينهم.

لكن النواة ليس بها إلكترونات تستطيع مكونات النواة تبادلها كعربون محبة فيما بينها. كما إن الإلكترون يعطينا، كما تقول حسابات "تام"، قوة لصق صغيرة لا تصلح للنواة. إذن ماذا يتبادل البروتون والنيترون فيما بينهما للحصول على قوة لصق كبيرة؟

لم يبق أمام الشاطر حسن سوى طريقين. طريق السلامة والرجوع بخفي حنين والتخلي عن فكرة تبادل الجسيمات. أو الطريق الآخر، وهو الغوص في هذه الفكرة إلى أعماقها، والإعلان عن أن التبادل يحدث بين البروتونات والنيترونات نفسها رغم اختلاف خواصهما الكهربائية. هذا لأن البروتون يمكنه أن يتحول إلى نيترون، والنيترون إلى بروتون.

الفكرة جريئة جاءت عام 1934م. قبل ذلك بعامين، ثبت تحول الإلكترون والبوزوترون، إلى أشعة جاما. لكن هذه الخاصية تختلف تماما عن حالتنا. البوزوترون، له كتلة الإلكترون ولكن موجب الشحنة.

إذا كان البروتون يتحول إلى نيترون، والعكس صحيح، فلابد أنهما يتبادلان شيئا أثناء هذا التحول. البروتون يحصل على هذا الشئ فيتحول إلى نيترون، والنيترون يعطي هذا الشئ، فيتحول إلى بروتون. ويمكن أن يكون هناك شئ آخر، يحصل عليه النيترون ويعطيه البروتون.

هنا قال العلماء أن هذا الشئ، إما أن تكون له شحنة البروتون الموجبة أو الإلكترون السالبة. لا نعرف بالتأكيد. كما أن كتلته يجب أن تكون بين 200 و 300 ضعف كتلة الإلكترون. أطلق على هذا الشئ اسم "ميزون" وتعني باليونانية، الوسيط. لا دخل للشيخ ميزو بالميزون هنا.

البروتون يشع ميزون موجب الشحنة، يفقد البروتون شحنته ويصبح نيترون. فيتلقف النيترون الميزون، لكي يتحول إلى بروتون. لكن الميزون يمكن أن يكون سالب الشحنة. في هذه الحالة سيكون المشع هو النيترون والمتلقي هو البروتون، ليتحول كل منهما إلى الآخر. شغل حواة.

لكن أين هذه الميزونات؟ تجاربنا على الأنوية المشعة مستمرة، فلماذا لم يصادفنا وجوده؟ الإجابة هي أبدا لن نجده خارج النواة. إنه يفضل القيام بهذا العمل الجبار في الخفاء بدون اعلان عن هويته.

ثم يتجه انتباه العلماء إلى جسيمات الذرة المعروفة بالأشعة الكونية. بعدها بأقل من سنة، تم اكتشاف الميزون. وثبت أن كتلته تتفق مع حسابات "يوكاوا"، وهي تبلغ 200 كتلة الإلكترون.

إذن وجب على علماء الفيزياء النظرية أن يحتفلوا بانتصارهم الخاص بالتصور الجرئ لعلاقة البروتونات بالنيترونات، واكتشاف وجود الميزون داخل النواة. هذا حقا يعتبر من أعظم الاكتشافات في تاريخ الفيزياء.

لكن الاحتفال ومزيكة حسب الله لم تدم طويلا. الميزون يرفض التلامس مع أنوية الذرات. لا يبالي بوجود النيترون، ويتأثر قليلا بالبروتون في حدود التفاعل الكهربي.

فهل الميزون هو الشئ الذي يتداخل بين البروتون والنيترون ويحول كل منهما إلى الآخر؟ واضح أنه ليس هو الشئ الذي نبحث عنه. فليستمر البحث على قدم وساق.

هذه المرة، الطبيعة تلعب مع العلماء لعبة الاستغماية أو لعبة عسكر وحرامية. اكتشافات رهيبة في عالم الذرة قد تمت. أسرار الطاقة الذرية تم اكتشافها. أول مفاعل ذري تم بناؤه. القنابل الذرية تم تصنيعها. لكن هذا الشئ الذي نبحث عنه لم نعثر له على أثر.

فقط عام 1947م، قام "باول"، الباحث في الأشعة الكونية، باكتشافه. هذا الشئ الجديد، هو أيضا ميزون. لكنه ميزون مختلف كل الاختلاف. كتلته ليست 207 كتلة الإلكترون، ولكن 273 كتلة الإلكترون. لا يوجد هناك خطأ هذه المرة.

الميزون الجديد أطلق عليه اسم باي-ميزون، للتفرقة بينه وبين ميو-ميزون القديم. يتفاعل بشدة مع جسيمات النواة، البروتون والنيترون. ويستطيع إذا كانت له طاقة كبيرة، أن يفتت أنوية الذرات التي يقذف بها.

افتراض أن هناك قوة نووية، تجعل نواة الذرة متماسكة، عن طريق تبادل الميزون بين جسيمات النواة، هو عمل عبقري من أعمال الميكانيكا الكمية. جعل العلماء يبحثون عن الميزون وكلهم ثقة بأنهم سيجدون ما يبحثون عنه.

الباب العاشر

قوة ربط النواة وأنفاقها

على الفور، بدأ علماء الفيزياء في بحث القوة التي تبقي على تماسك نواة الذرة فور اكتشافها. أول شئ لاحظوه، هو صغر المجال الذي تعمل فيه. بعكس قوة الجاذبية التي تعمل بين الأجسام، مهما بعدت المسافة بينها.

القوة التي تربط الذرات ببعضها لكي تكون جزيئات، مثل ملح الطعام، تعمل على مسافات تقاس بجزء من مئة مليون جزء من السنتيمتر.

أما القوى التي تربط جسيمات النواة ببعضها، فهي تعمل في مسافة أقصر من ذلك عشرة آلاف المرات. أي مسافات تقترب من أبعاد جسيمات النواة نفسها. ربما هذا هو السبب في أنها لا تتواجد خارج نواة الذرة.

هذه القوة، هي أشد قوة تم اكتشافها حتى الآن. إنها تستطيع التغلب على قوى التنافر الهائلة بين جسيمات البروتونات الموجبة الشحنة، وتجبرها على التعايش سلميا في رابطة واحدة داخل النواة.

حاول أن تجعل القطب الشمالي لمغناطيس يلامس القطب الشمالي لمغناطيس آخر. هذا يعطيك فكرة مبسطة عن قوى التنافر بين الشحنات المتشابهة.

القوة التي نتحدث عنها، أكبر من ذلك بكثير. لذلك تسمى القوة الشديدة. أما طاقة الربط، فهي الطاقة اللازمة للتغلب على هذه القوة الشديدة، والقادرة على تفتيت النواة إلى جسيماتها الأولية. كلما زاد عدد جسيمات النواة، كلما زادت طاقة الربط.

للحديث عن استقرار أنوية العناصر، دعنا نستخدم طاقة الربط بالنسبة للجسيم الواحد. يعني مجموع طاقة الربط، مقسوما على عدد الجسيمات. هذه الطاقة تقاس بوحدات خاصة تسمى، إلكترون-فولت. وهي وحدة طاقة صغيرة جدا، لكنها تعتبر مناسبة في عالم الذرة.

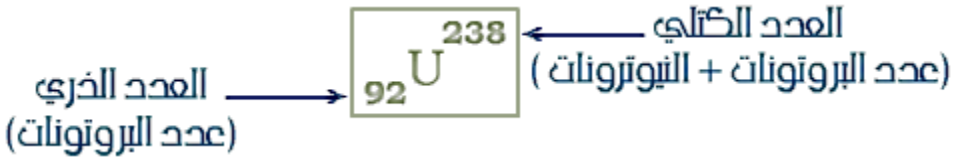
الربط بين جزيئات المواد، الماء على سبيل المثال، يمكن فك جزيئاته من بعضها في درجة حرارة الغرفة العادية. بدليل ظاهرة التبخر وتحول الماء إلى بخار. هنا طاقة الربط بالنسبة لجزئ واحد، تقاس بأجزاء من مئة جزء من ال"إلكترون-فولت".

أما إذا حاولنا تفتيت جزئ الماء مثلا إلى عناصره الأولية، ذرتين هيدروجين وذرة أكسوجين، فيلزمنا في هذه الحالة طاقة أكبر، تقريبا تساوي 10 إلكترون-فولت للذرة الواحدة. هذه الطاقة تعادل رفع درجة حرارة الماء إلى 10 آلاف درجة مئوية.

لكن طاقة ربط جسيمات النواة، تقاس بملايين ال"إلكترون-فولت". الآن يتضح لماذا لا تتأثر العناصر بالحرارة والتسخين وتقلبات الجو والزلازل والبراكين. تصادم الذرات، حتى في درجات حرارة عالية، قد تبلغ عشرات الألوف. لكن تأثيرها مثل إلقاء كرة مطاط على حائط جرانيت.

قام العلماء بدراسة درجة استقرار النواة ومقاومتها للتفكك والتحلل، بالنسبة للعديد من العناصر المختلفة. العلماء يقومون بدراسة كل ظاهرة تواجههم لمعرفة أصلها وفصلها. عندهم فضول قاتل. عاملين زي عواجيز الفرح، عاوزين يعرفوا كل شئ عن العروسة والعريس بالتفصيل.

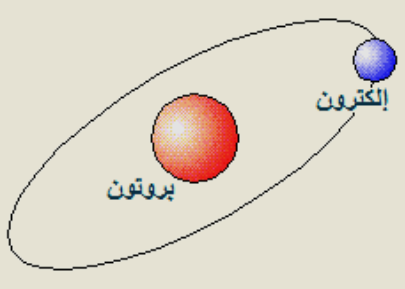
قاموا بقياس شدة استقرار النواة وتماسك نواتها وعلاقة ذلك بعدد البرونات والنيترونات بها. هذا العدد يسمى عدد الكتلة. أما عدد البروتونات وحدها في النواة، فيسمى بالعدد الذري.



عدد الكتلة والعدد الذري لليورانيوم

ثم وضعوا البيانات في صورة رسم بياني. خط يبين شدة استقرار الجسيم داخل النواة، وخط يمثل الوفرة النسبية في الطبيعة بالنسبة لكل عنصر أو نظيره. الوفرة هي مقدار توافر العنصر في الكون كله، لا على الكرة الأرضية فقط. وهي نسبة تقديرية بالطبع.

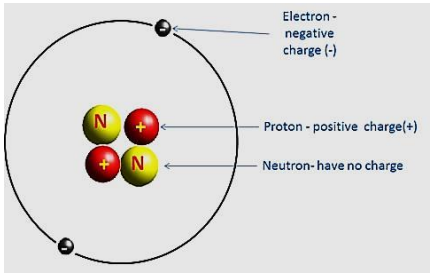
الرسم البياني بين لنا، بالنسبة للذرات الخفيفة، التي عدد كتلتها يقبل القسمة على 4، مثل الهيليوم-4، الكربون-12، الأكسوجين-16، إلخ. هي أكثرها وفرة في الطبيعة. كأن هذه الأنوية تتكون من جسيمات ألفا فقط. باقي العناصر والنظائر، كلما زاد استقرار وتماسك النواة، كلما زادت وفرة العنصر في الطبيعة.



ذرة الهيدروجين هي الأكثر استقرارا

بالنسبة لصراع الوجود في هذا الكون، البقاء للأصلح. الأكثر وفرة، هي العناصر الأكثر صلابة واستقرارا. لا مكان للضعفاء. الهيدروجين مستقر أصلا من أساسه، لأن نواته ليس بها تنافر، فهي تتكون من بروتون واحد. سنعرف السبب عند الكلام عن غلاف أو قشرة النواة.

الكلام بأن الأنوية المستقرة هي التي تتكون من جسيمات ألفا، كلام غير دقيق. لكن الشئ المؤكد، هو أن الأنوية التي عدد كتلتها مضاعفات الأربعة (2 بروتون + 2 نيترون)، هي أنوية شديدة الاستقرار والتماسك. أربعات تشكيل.



ذرة الهيليوم شديدة الاستقرار

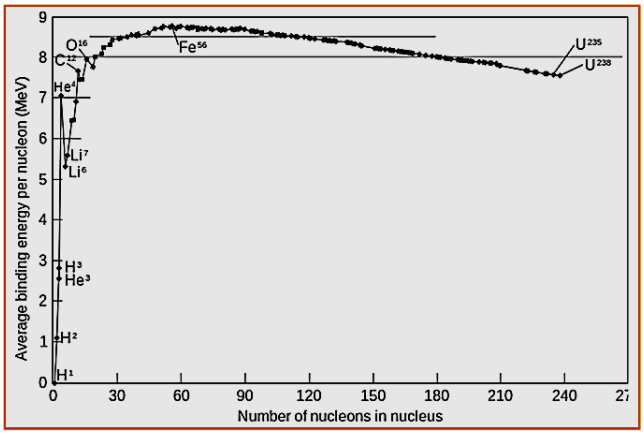
في هذه الحالة، تكون جسيمات النواة متشبعة. ويصبح من المستحيل إضافة بروتون أو نيترون زيادة للنواة المتشبعة. مثل الكوب الممتلئ، لا يقبل المزيد. أو السيارة كاملة العدد. نواة الهيليوم، على سبيل المثال، تأبي استضافة أي جسيم غريب (بروتون أو نيترون). لا يوجد لها في الطبيعة نظير له عدد كتلة خمسة.

عدم الترحيب بالغريب واستضافته، مبدأ غير أخلاقي لا يصلح للبني آدمين. لكنه يقوي ويشد من أزر نواة الهيليوم وأشباهها. تعتبر نواة غاز الهيليوم أكثر الأنوية تماسكا وصلابة في الكون، باستثناء ذرة الهيدروجين، التي تتكون نواتها من بروتون واحد، فهي متماسكة من أصله.

التشبع، خاصية جديدة، غريبة على القوة النووية. كما أن القوى النووية يبدو أنها لا تعبأ بالشحنات الكهربائية للبروتونات. فهي تعمل بين البروتون والنيترون كأنهما متساويا الشحنة. لكن كيف؟ لا نعرف الإجابة على هذا السؤال حتى الآن.

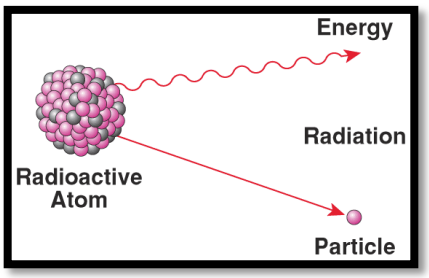
قوى التبادل بين البروتونات والنيترونات، هي قوى جذب تربط جسيمات النواة مع بعضها. لكن إلى أية درجة؟ لابد أن يكون هناك حدود لهذه القوى. إذا زادت عن حدها، جعلت جسيمات النواة تنصهر مع بعضها في شئ واحد.

بالطبع هذا لا يحدث. لأن الطبيعة تمنع ذلك. لابد من وجود قوة أخرى طاردة، تمنع انصهار جسيمات النواة. تعتمد على موضع الجسيم داخل النواة وعدد الجسيمات. الرسم البياني السابق الإشارة إليه، بين لنا أن طاقة الربط بعد الحديد، تقل بالنسبة للجسيم كلما زاد عدد الجسيمات. أي كلما زاد عدد الكتلة. الكبر هنا ليس ميزة.



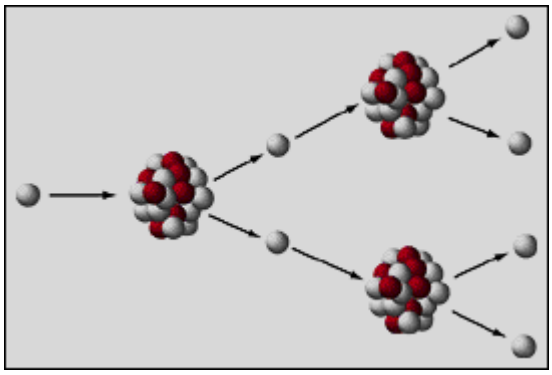
علاقة عدد الكتلة بقوة الربط في النواة

كلما زاد عدد جسيمات النواة، كلما زاد حجمها. كل جسيم يقع تحت تأثير قوى التبادل مع جيرانه. لكن قوى التنافر تتزايد مع ازدياد جسيمات النواة.



نواة غير مستقرة مشعة

عندما تزيد قوى التنافر على قوى الربط في الأنوية الكبيرة، تصبح النواة غير مستقرة. فتحاول الطبيعة جعلها أكثر استقرارا. هذا يمكن إذا بدأت النواة في التخلص من الأجسام الزائدة. مثل السفينة الغارقة التي يتخلص ربانها من الحمولة الزائدة. الحمولة الزائدة التي تتخلص منها النواة، هي الإشعاع الذري. أشعة ألفا وبيتا وجاما.


قذائف النيترونات تجعل العنصر المستقر غير مستقر

يمكننا تحويل عنصر عادي حجم نواته متوسطة، إلى عنصر مشع، عن طريق تسليط وابل من النيترونات على نواته. فتصبح أنويته غير مستقرة. تحاول العودة إلى حالة استقرارها السابقة، لكن عن طريق مختلف. فيجد العنصر نفسه بعد الإشعاع، عنصرا مختلفا عن الأصل.

إذا أجبرنا النواة على بلع نيترون رغم إرادتها، فإنها ترد بإشعاع إلكترونات وأشعة جاما. في النهاية تتحول إلى نواة عنصر مختلف. إنها تهرب من هذا الزواج القسري، وتتحول إلى شئ آخر مختلف تماما وأكثر استقرارا.

الأنوية تبغي الاستقرار والسكينة بأي ثمن. لا تحب الفوضى الخلاقة. الأنوية الغير مستقرة، لا يمكنها الاستمرار هكذا مدة طويلة. كلما كانت أكثر استقرارا، كلما طال عمرها ووجودها. من ثم، زادت وفرتها في الطبيعة.

لكن القوانين التي تحكم الاستقرار في الأنوية، هي قوانين معقدة للغاية. قام العلماء بدراستها عشرات السنين، ولا يزالون ينقصهم الفهم الكامل لها. على سبيل المثال، لا يعرف العلماء لماذا أشعة ألفا مستقرة، كل هذا الاستقرار. للتذكرة، أشعة ألفا هي أنوية الهيليوم، قيصر الأنوية المستقرة وأشدها صلابة، بعد الهيدروجين، الذي هو مستقر بطبيعته لأن نواته ليس بها تنافر.

الآن لدينا مشكلتان: لماذا تتطاير أشعة ألفا، التي تتكون من 2 بروتون + 2 نيترون، من النواة بينما لا تتطاير البروتونات والنيترونات منفردة؟

من الرسم البياني الخاص بالوفرة والاستقرار، وجدنا أن الأنوية التي عدد كتلتها مضاعفات الرقم 4، مثل الهيليوم-4، الكربون-12، الأكسيجين-16، هي أكثر استقرارا من جيرانها في الترتيب.

الأنوية شديدة الإشعاع، تشع ألفا، التي هي نواة الهيليوم الرباعية العدد. فكيف يتسنى للرقم 4 أن يسبب استقرارا في أنوية، وفي نفس الوقت يظهر في الإشعاع الذي وجوده يعني عدم الاستقرار، أليس هذا تناقضا؟

كما أن نواة الهيليوم، التي عدد كتلتها 4، لا تقبل المزيد، ولا يمكن إضافة أي جسيم لها؟ إذن كيف تكونت الأنوية الأكبر من الهيليوم في الطبيعة؟

للإجابة على هذه الأسئلة، دعنا ننظر كيف تتبادل أشعة ألفا الميزون فيما بين جسيماتها. نعلم أن أحد طرق التبادل، هو أن يرسل النيترون شحنة سالبة من باي-ميزون، فيتحول بعد ذلك إلى بروتون. بينما البروتون يمتص هذا باي-ميزون، فيتحول إلى نيترون.

هذا يذكرنا بمنالوج محمود شكوكو: "أطلعله بره يدخللي جوه، أدخله جوه يطلعلي بره. سبب شقايا وأسايا هوه، مارتحش قلبي في حبه مرة. وهلم جرة."

هذا يعني أن المجموعة الرباعية بها على الدوام 2 بروتون و2 نيترون. لكن تخيل أننا داخل نواة بها مجموعات رباعية لا واحدة. فإذا أرسل النيترون ميزون، قام بامتصاصه بروتون من مجموعة مجاورة.

هنا حدثت جريمتان في نفس الوقت. المجموعة الأولى سيكون بها 3 بروتون ونيترون واحد، والمجموعة المجاورة بها 3 نيترون وبروتون واحد. لماذا جريمتان؟

لأن مبدأ باولي في توزيع الطاقة يمنع ذلك. البروتون والنيترون له نفس مقدار اللف المغزلي. لذلك ينطبق عليهما نفس قوانين توزيع الطاقة الخاصة بالإلكترونات.

هل تذكرون ما قلناه سابقا من أن الإلكترون له لف مغزلي مع عقارب الساعة وعكس عقارب الساعة. مما يجعلنا نضع 2 إلكترون في نفس السحابة دون الإخلال بمبدأ باولي لتوزيع الطاقة. نفس الشئ بالنسبة للنواة.

أشعة ألفا مستقرة وشديدة التماسك، لأن 2 بروتون و 2 نيترون يحتلون نفس مستوى الطاقة. هذا ممكن ولا يعتبر إخلالا بمبدأ باولي لتوزيع الطاقة في النواة، لأنه في أية لحظة زمنية، سنجد بروتون ونيترون في حالة تغيير. وكأنهما جسيمات مختلفة. شغل حواة.

جسيمات النواة لا تريد أن تقترف جريمة. كما إنها لا تحب أيضا عدم الاستقرار. فماذا تفعل؟ تقوم على الفور بإطلاق الميزون وتبادل الأدوار بين البروتون والنيترون. مما يجعل المجموعة الرباعية معزولة عن المجموعات الأخرى.

كلما اتجهنا نحو الأنوية المتوسطة والثقيلة، كلما قل التأثير الرباعي على استقرار النواة. عندما تكبر النواة وتصبح في حجم الفيل بالنسبة لباقي الأنوية، يكون تفاعل الجسيمات مع الجيران المباشرة فقط.

بالقرب من السطح الخارجي للنواة الضخمة، تتكون التشكيلات الرباعية التي ذكرناها. لأنها هي الأكثر استقرارا. هذا هو السبب، في أن الأنوية الثقيلة تشع جسيمات ألفا، بدلا من بروتونات ونيترونات منفردة.

لكن كيف تيسر لأشعة ألفا الهرب من النواة؟ النواة عبارة عن مجمع من الجسيمات المتصلة ببعضها والتي بينها قوة ربط. الجسيم داخل النواة مثل الإلكترون الواقع في الحفرة. أي مثل الإلكترون في السطح المعدني.

لذلك تسمى الحالة بئر الجهد. هناك حاجز مرتفع يمنع الجسيمات من الهرب بنفسها. نحن نعرف عمق البئر، أو ارتفاع الحاجز. وهو قوة الربط للنواة. كلام كبير لكن من السهل فهمه مع موسيقى باخ أو موزارت، بعد نوم الأولاد بالطبع.

الحاجز العالي في النواة، يختلف عن حاجز الإلكترون الذي ذكرناه سابقا. حاجز النواة لا يحتاج إلى ألاعيب شيحة للقفز من فوقه. الحاجز النووي ليس بئرا بدون جدران خارجية. لذلك لا تحتاج النواة أن توضع في مجال كهربائي.

الحاجز النووي عبارة عن سور. سور غير سميك، لكنه مرتفع جدا. الآن تأتي الميكانيكا الكمية للنجدة. إشعاع جسيمات ألفا من النواة، هو عبارة عن تسرب من أنفاق غزة. نعم تسمى هذه الظاهرة "تأثير الأنفاق". هكذا قال رجال الميكانيكا الكمية.

الخاصية الموجية للجسيمات وموجة دي بروجلي من جديد. تاني؟ يا رب ارحمنا. لقد قابلنا موجة الإلكترون من قبل. الآن نقابل موجة جسيمات ألفا. ألف رحمة ونور على روحك يا "دي بروجلي".

الجسيمات لا تعبر الحواجز. إنما الموجات هي التي تعبر الحواجز. لقد عرفنا من قبل كيف تسنى للإلكترون الخروج من البئر، أي من السطح المعدني. نقوم أولا بتحويل البئر إلى سور. كيف؟

بوضع المعدن الذي يوجد به الإلكترون في مجال كهربائي. فيقوم الإلكترون بالعبور من أنفاق عبر السور. الإلكترون ينفذ من الحيطان مثل سعيد أبوبكر في فيلم السبع أفندي. الإلكترون في هذه الحالة موجة احتمالية. بص شوف الإلكترون بيعمل إيه. شغل حواة.

نفس الشي هنا، غير أننا لدينا السور بدون المجال الكهربائي. فتقوم الموجة الاحتمالية لجسيمات ألفا بالعبور من أنفاق الحاجز أو السور، وتنطلق إلى الفضاء الحر.

كلام مجانين، لكنه علمي مدعم بالتجربة والمشاهدة والمعادلات الرياضية. هذه هي الميكانيكا الكمية. له حق أينشتاين يرفضها، ويقول إن الله لا يلعب النرد.

نظريا، جسيمات ألفا يمكنها التطاير من نواة ذرة الأكسوجين. لكن الاحتمال ضعيف جدا. بالنسبة للأنوية الخفيفة، الحاجز الذي يجب أن تعبره جسيمات ألفا كبير جدا، لهذا، الاحتمال ضئيل. أما الأنوية الثقيلة، فالحاجز منخفض. لذلك، الاحتمال كبير.

تأثير النفق يعتمد على ارتفاع الحاجز. هذا هو السر الدفين في أشعة ألفا. ارتفاع الحاجز بالنسبة للبروتون والنيترون في الأنوية الثقيلة، أعلى بكثير من ارتفاع الحاجز بالنسبة لجسيمات ألفا. لذلك الأنوية تشع جسيمات ألفا، بدلا من البروتونات والنيترونات منفردة.

الباب الحادي عشر

النواة قطرة سائلة

لازلنا نبحث طبيعة نواة الذرة. هذا الشئ العجيب. النواة تختلف في التركيب عن الإلكترون. الإلكترون لا يدور في مدارات حول النواة كما هو الاعتقاد السائد. لأن مبدأ عدم اليقين لهايزنبرج، يمنع الإلكترون من أن يكون له مدارات.

مدارات تعني مسارات وطرق. أي أنني أستطيع مسبقا تحديد مكان الإلكترون في المدار متى عرفت سرعته، وبالعكس. هذا غير ممكن بمبدأ عدم اليقين. لكن الإلكترون عبارة عن نقطة، لها كتلة وشحنة سالبة، واحتمالات وجود في أماكن حول النواة. مجموع هذه النقاط تسمى سحابة إلكترونية. شكل السحابة قد يكون كرة أو حلقة أو شرنقة، إلخ.

سحابة الإلكترون حول النواة، تستوعب عددا كاملا من موجات دي بروجلي. بدون كسر. أي لا يوجد نصف موجة أو جزء من الموجة. عندما تتجمع سحب الإلكترون حول النواة عند مستوى طاقة معين، يطلق عليها "الغلاف" أو القشرة.

سعة الغلاف تمثل أكبر عدد من الإلكترونات يمكن أن يتواجد داخله. سعة الغلاف لها علاقة بترتيب بعد الغلاف عن النواة. الغلاف الأول يسع 2 إلكترون، الثاني 8، والثالث 18، إلخ.

بعد اكتشاف طبيعة البروتونات والنيترونات بعدة سنوات، تخيل العلماء أن النواة هي الأخرى عبارة عن سحب من البروتونات والنيترونات، ولم لا. أو كما يقول ابن نباتة المصري: ولم لا أحب ديار فاطمة.

خاصية تشبع القوى النووية وتحلل أشعة ألفا، جعلت العلماء يعتقدون أن النواة ليست شيئا هلاميا لا شكل له، إنما هي مجمع من جسيمات ألفا. كلما تقدمت

الميكانيكا الكمية وتجارب العلماء في معرفة أسرار تركيبة النواة، بدأ يتضح أن الأمر ليس بهذه البساطة. نحن الآن أمام غابة من الأشجار أو حديقة حيوانات، لها أشكالها المميزة.

النواة حديقة حيوانات من الأجسام المختلفة

نواة الهيليوم، هي نفسها جسيمات أشعة ألفا. تتشكل من مجموعة رباعية (2 بروتون + 2 نيترون). تحتل منطقة أقل مستوى طاقة داخل النواة. هذه هي الحالة الأكثر استقرارا بالنسبة لجسيماتها.

عندها، يكون كلا من البروتونات والنيتروات لهما لف مغزلي في اتجاهين معاكسين. في اتجاه عقارب الساعة، وعكس عقارب الساعة. حتى لا نخل بمبدأ باولي لتوزيع الطاقة في الذرة.

اللف المغزلي في اتجاهين معاكسين حتى لا نخل بمبدأ باولي

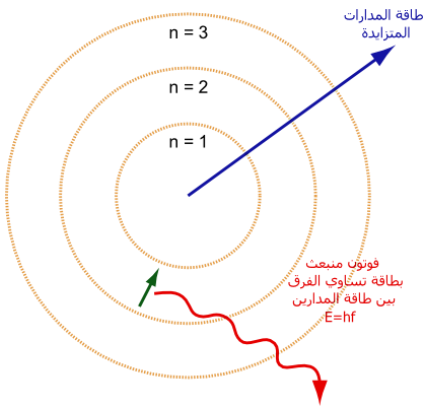
في أية نواة بها أكثر من تشكيل رباعي، التشكيل الثاني يحتل مستوى طاقة أعلى من الأول. الثالث، يحتل مستوى ثالث أعلى من الثاني، إلخ. كلما زاد عدد التشكيلات الرباعية داخل النواة، كلما زاد مستوى الطاقة الذي يحتله التشكيل. مثل حالة غلاف الإلكترونات.

في الأنوية التي لا يقبل عدد جسيماتها على أربعة، سنجد مستوى طاقة غير مشغول بالكامل. أما التي تقبل القسمة على أربعة، فهي شديدة الاستقرار، بسبب اكتمال غلاف طاقتها.

هذا بخصوص أشعة ألفا، فمن أين تأتي أشعة جاما؟ سنعرف الكثير عن طبيعة غلاف أو قشرة النواة، أثناء بحثنا عن مصدر أشعة جاما. عند دراسة أشعة جاما، عرف العلماء الكثير من المعلومات الهامة عن النواة وجسيماتها.

أول ما يلفت النظر، هو التحليل الطيفي لأشعة جاما. لقد وجد أنه يتكون من خطوط منفصلة عن بعضها. نحن نعرف ما يعنيه هذا. هذا يعني أن جسيمات النواة يمكنها الحصول فقط على طاقات معينة.

يعني أيضا أنها يجب أن توجد في مستويات خاصة للطاقة. انتقال الجسيمات بين هذه المستويات الخاصة، يعطينا أشعة جاما. مثل انتقال الإلكترون من مستوى طاقة مرتفع إلى مستوى طاقة أقل، يعطينا الضوء. هكذا يتولد الضوء، وهكذا تتولد أشعة جاما.



انتقال الإلكترون إلى مستوى طاقة أقل يولد الضوء

كذلك انتقال الجسيمات داخل النواة إلى مستوى طاقة أقل يولد أشعة جاما

لكن، ما هي مستويات الطاقة هذه؟ وكيف تشغل بجسيمات النواة؟ حقيقة، وجود مستويات طاقة مختلفة للنواة، لم يفاجئنا البتة. لأن معادلة شرودينجر الشهيرة قد تنبأت بذلك من قبل، عند تطبيقها على النواة. شرودينجر عبقري آخر من عباقرة الميكانيكا الكمية.

أرجو أن يتسع وقتي لكتابة قصة حياة هؤلاء العباقرة في المستقبل. هؤلاء هم وأمثالهم، زهرة الزهرة. فخر البشرية وأعلامها الخفاقة. ورودها ورياحينها وأريجها وقلبها النابض، وأملها وأملنا في حياة أفضل وأنبل.

بذلوا كل ما يستطيعون. ضحوا بأموالهم، وأفنوا حياتهم بحثا عن الحقيقة، ولا شئ غير الحقيقة. لكي ينيروا للإنسان الدرب، وينتشلوه من غيابات الجب، ويجنبوه حلكة الإظلام والجهل. جاءوا لكي ينقذوه من براثن التخلف والدجل والشعوذة، الناشبة أظافرها في عنقه بدون هوادة أو رحمة.

لم يعدوه إلا بالحق والصدق والأمانة. لم يغرروا به لمكسب سياسي أو لسيطرة كهنوتية. لم يرشوه بأمل خادع أو كذب معسول. لم يخاطبوا إلا عقله، ولم يستغلوا عواطفه وضعفه. أبطالنا الحقيقيون. أبطال البشرية جمعاء في كل مكان، وعلى مر الدهور والأزمان.

الصيغة التي تصف تفاعلات الجسيمات داخل الذرة، تعرف بقانون كولومب. هذا القانون، يحسب قوة التنافر بين الإلكترونات فيما بينها، ويحسب أيضا قوة التجاذب بين الإلكترونات والنواة. الشحنات المتشابهة تتنافر، والمختلفة تتجاذب.

سنضع هذا القانون في معادلة شرودينجر. القانون الذي يصف قوى النواة لم يكن معروفا بعد. العلماء عليهم حل المسألة بالمقلوب: راقب طيف أشعة جاما، واحسب منه مستويات الطاقة للنواة.

بدأ العلماء يعملون على هذه المسألة. قاسوا شدة استضاءة خطوط الطيف لأشعة جاما، وخواصها. ثم حاولوا اشتقاق، من هذه المعلومات، قانونا يبين تفاعلات الجسيمات داخل النواة.

تبين أن المسألة ليست بهذه السهولة. لابد من معرفة شيئا عن طبيعة جسيمات النواة، البروتونات والنيترونات. المعلومات الخاصة بمستويات الطاقة في النواة، والغلاف أو القشرة المكونة من سحب البروتونات والنيترونات الإحتمالية، كل هذه المعلومات ساعدتنا في شرح مصدر أشعة جاما، وسلوكها الغريب.

نعرف أنه لكي تشع النواة أشعة جاما، وهي أشعة كهرومغناطيسية مثل الضوء، على النواة أن تنتقل أولا، من مستوى طاقة أقل وحالة استقرار، إلى مستوى طاقة أكبر وعدم استقرار. النواة تصبح الآن في حالة إثارة. عند عودة النواة إلى حالتها الطبيعية، تشع جاما.

الإلكترون عندما ينتقل من مستوى طاقة مرتفع إلى مستوى منخفض، يشع ضوء. لكن النواة عندما تفعل نفس الشئ تشع جاما. وهي أشعة كهرومغناطيسية مثل الضوء، الأشعة السينية، الرادار، والراديو، إلخ.

قوى النواة تبلغ مليون ضعف القوة الكهربائية المتولدة من حركة الإلكترونات. لهذا السبب، المسافة بين مستويات الطاقة في النواة، أكبر من المسافة بين مستويات الطاقة بالنسبة للإلكترونات. لذلك، من الطبيعي أن نتوقع أن أشعة جاما لها طاقة أضعاف طاقة الضوء.

هذا يعني قصر طول موجتها المتناهي. هناك علاقة عكسية بين طول الموجة وطاقة الأشعة الكهرومغناطيسية. لهذا، أشعة جاما لها أقصر طول موجة معروف حتى الآن. مما يجعل قدرتها كبيرة على اختراق الأجسام. أشعة خطرة على جسم الإنسان والأحياء بصفة عامة. إلا أن الأطباء اليوم يقومون بإجراء عمليات جراحية للمخ باستخدام "سكاكين أشعة جاما".

الآن نعرف لماذا تشترك أشعة جاما في كل تفاعلات النواة. لأن تفاعلات النواة ما هي إلا تغيرات في حالة مستويات الطاقة أثناء طلبها للاستقرار. النواة يمكنها أيضا التخلص من طاقتها الزائدة، وإرسالها مباشرة إلى سحابة الإلكترون الخارجية.

لكن هذا يشبه الزلزال بالنسبة للذرة ككل. ينتج عن ذلك هروب بعض الإلكترونات بسرعة فائقة من الذرة. هذه الخاصية تسمى ظاهرة التحول الداخلي للنواة.

لكن، هل غلاف النواة أو قشرتها، شئ حقيقي؟ إذا كان الغلاف موجودا، فلابد أن يكون شيئا مختلفا عن غلاف الإلكترون. النواة ليس لها قلب يمكن أن يحاط بجسيمات النواة. كما أن النواة مكونة من جسيمات مختلفة، بروتونات ونيترونات، بعكس الإلكترون.

فماذا يعني غلاف النواة؟ هو بالنسبة للنواة، منطقة استقرار للطاقة معزولة لمجموعة جسيمات. لا يحدث طول الوقت وفي كل الأماكن. في الأنوية الثقيلة، تفقد مستويات الطاقة المنفصلة خصوصيتها وتصبح لا شكل لها. ويكون لدينا العديد من الجسيمات وسحبها متداخلة مع بعضها.

لم يعد هناك أية حركة مميزة للجسيمات داخل النواة. النتيجة، تفقد النواة شكلها كجزء من الذرة. لذلك، يجب التخلي عن نموذج الغلاف للنواة. إذن، ما هو النموذج الجديد المقترح؟

النواة كقطرة سائل

قبل الحرب العالمية الثانية مباشرة، اقترح العلماء نموذج "نقطة السائل" للنواة. تم تخيل النواة ككتلة متجانسة بدون ملامح أو شكل معين. أي أنها لا تشبه جسيمات ألفا أو شكل الغلاف. البروتونات والنيترونات داخلها أشبه بجزيئات السائل. هي في حركة عشوائية دائمة داخل نقطة السائل.

النواة لها سطح مثل نقطة السائل. لكن السطح دائم الحركة. السوائل تغير من شكلها لأسباب داخلية وخارجية. سطح النواة له توتر سطحي مثل كل نقط السوائل. القوى المؤثرة عليها، هي فقط قوى التجاذب داخلها.

إلى هنا يقف التشابه بين النواة ونقطة السائل. دعنا نقارن كثافة نقطة السائل العادي بكثافة سائل النواة. الحسابات الأولية تبين أن جسيمات النواة مضغوطة مع بعضها آلاف ملايين المرات، قدر ضغط جزيئات نقطة السائل العادية. النقطة من السائل النووي في حجم نقطة المطر، تزن 10 مليون طن.

شئ مذهل. نعرف أن خاصية الأجسام تعتمد على كثافتها. اضغط الغاز واجعل كثافته تزيد ألف مرة، يتحول الغاز إلى بلورة، تخضع لقوانين مختلفة. لذلك يجب التوقف عن مقارنة النواة بنقطة السائل. الفرق في الكثافة مهول. كما أن القوى المؤثرة بين جسيمات النواة تختلف تماما عن القوى المؤثرة بين جزيئات نقطة السائل.

ضع قطرة من الزئبق على شريحة زجاجية، ثم قم بهزها قليلا. سترتجف القطرة ويظهر على سطحها تموجات. هز القطرة بشدة، ستجدها تتفتت إلى قطرات أصغر حجما.

هذا يذكرنا بأكبر اكتشاف في عالم الفيزياء، تم عام 1939م. أصاب مجتمع العلماء بحالة من النشوة الطاغية. لا يفهم معنى هذا الاكتشاف سوى العلماء أنفسهم. ألا وهو اكتشاف الانشطار النووي. تفتيت نواة اليورانيوم.

سارع علماء الفيزياء النظرية في كل أنحاء العالم، كل على حدة، لإيجاد تفسير لهذه الخاصية المذهلة للذرة. نيلز بور وفرينكيل، جاءا بنظرية. نجحا في تفسير انشطار نواة اليورانيوم، في ضوء نموذج نقطة السائل للنواة.

فكرة بور وفرينكيل كالآتي: لدينا نواة في وضعها الطبيعي. إذا كانت النواة مستقرة، فإن مكوناتها تصبح معزولة. بمعنى أنها قد أغلقت الباب على نفسها ولا تتعامل مع العالم الخارجي.

فجأة، يحل علينا ضيف ثقيل على غير المتوقع، النيترون. جسيم يأتي من حيث لا ندري. وغير متوقع قدومه. يحمل معه طاقة، يفرغها في النواة. فيهتز لقدوم الضيف كل السكان ويسود الهرج والمرج. ويصبح من العسير التفرقة بين الضيف والسكان الأصليين. وتصبح النواة غير مستقرة.

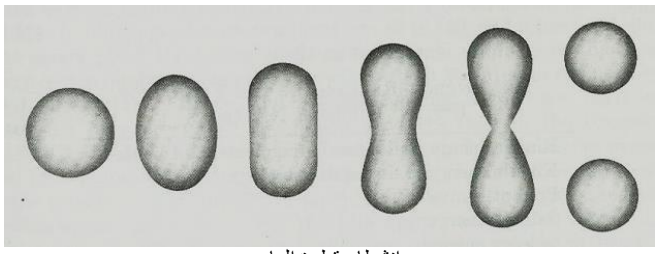
الآن، لا الضيف ولا الجسيمات الأصلية للنواة تستطيع مغادرتها. لذلك، وجب خلق أنوية جديدة بالانشطار النووي. هل تذكر رج قطرة الذئبق على الشريحة الزجاجية. يسمي بور النواة في هذه الحالة، نواة مركبة.

لا يستمر هذا الوضع طويلا. أحد الجسيمات، أخيرا تبلغ بها القوة درجة تجعلها تنفذ من حاجز النواة، إلى العالم الخارجي. إذا كان الجسيم الهارب من النواة يختلف عن الجسيم الساقط عليها، يسمى ما حدث بالتفاعل النووي. شبيه بالتفاعل الكيميائي، من حيث أن ما يدخل في التفاعلات الكيميائية يختلف عن ما يخرج منها.

هرج ومرج الجسيمات في النواة المركبة (المثارة)، يذكرنا بالحركة العشوائية الحرارية للجزيئات في قطرة السائل. في بعض الأحيان، تنفصل جزيئات السائل وتتبخر من القطرة. كذلك تتبخر بعض جسيمات النواة بعد إثارتها بقدوم جسيمات من الخارج.

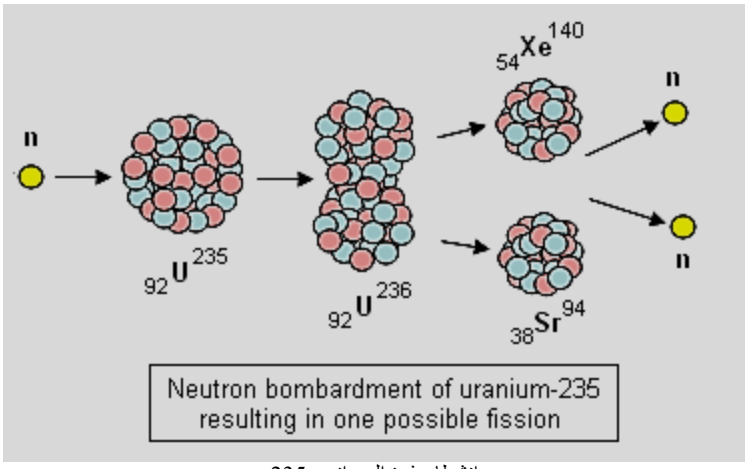
عندما يصطدم نيترون له طاقة بنواة ضخمة غير مستقرة مثل نواة اليورانيوم، أي هزة بسيطة تفتت نواة اليورانيوم-235. لكن كيف تتفتت قطرة ماء على سبيل المثال؟

التصوير السينمائي عالي التقنية لهذا الحدث يعطينا الجواب. بعد التصادم، تبدأ قطرة الماء في التذبذب ويظهر على السطح موجات عالية. بعد ذلك تتمدد القطرة وتأخذ شكل شرنقة دودة القذ. بعد ذلك تنفصل إلى جزئين من الوسط أو أكثر.



انشطار قطرة الماء

هنا يقترح بور أن الانشطار النووي عندما يصيب النيترون قلب نواة اليورانيوم 235 الغير مستقرة، يحدث بطريقة مشابهة.



انشطار ذرة اليورانيوم 235

لكن، لماذا النيترونات وليست البروتونات هي التي تسبب انشطار النواة؟
للإجابة على هذا السؤال. النواة لها حاجز يمنع هروب جسيماتها في الأوقات العادية، لذلك هي مستقرة نسبيا.

البروتونات لها شحنات كهربائية موجبة. لذلك يمنعها الحاجز من اختراق النواة إلا إذا كانت طاقتها تبلغ مئات ملايين الإكترون-فولت. أما النيترونات، فليس لها شحنة كهربائية. لذلك تستطيع اختراق الحاجز الكهربائي للنواة بسهولة.

الباب الثاني عشر

أشعة بيتا والنيوترينو

لم يتبق لنا سوى أشعة بيتا. بذلك نكون قد بحثنا طبيعة الإشعاعات الثلاثة التي تصدر من الأنوية المشعة. نعرف حتى الآن كيف تتولد جسيمات ألفا وأشعة جاما داخل النواة، وأسباب انطلاقهما للعالم الخارجي. لكن، كيف تولدت أشعة بيتا، وهي محض إلكترونات، لم تكن موجودة أبدا داخل النواة؟

عفريت مصباح علاء الدين، حبسه الملك سليمان، لكن أشعة بيتا لم يحبسها أحد. تظهر لنا كأنها آتية من العدم. النواة ليس بها إلكترونات، وشحنتها موجبة بعكس شحنة الإلكترونات. فمن أين تأتي؟

عند بداية البحث عن مصدر أشعة بيتا، كان العلماء يتملكهم كل الأمل وطيب الرجاء. بعد اكتشاف سبب أشعة ألفا وجاما، كان المتوقع اكتشاف طبيعة أشعة بيتا بسرعة. كله تمام، الأمر لن يستغرق وقتا طويلا.

لكن يبدو أن الطبيعة لا تريد الكشف عن أسرارها كده بسهولة. كيف هذا؟ أليست أشعة بيتا هي الأكثر انتشارا في الطبيعة بين كل الأشعة؟ منذ اكتشاف أن قذف أنوية الذرات بوابل من النيترونات، ينتج عنه أنوية جديدة مشعة لم يسبق لها وجود على كوكب الأرض عام 1934م، أصبح لدينا آلاف من النظائر المشعة. معظمها يرسل أشعة بيتا، لا ألفا.

أول صعوبة تواجهنا هنا، هي أن الإلكترونات لا يمكنها التواجد داخل النواة. لماذا؟ السبب هو طول موجة الإلكترون، موجة دي بروجلي الاحتمالية. طول موجة الإلكترون أطول مئات المرات من أبعاد النواة. فكيف تصر الفيل في المنديل؟ هوه بروجلي ورانا ورانا؟ نعم، ما دمنا غاويين ميكانيكا الكم. هذه هي مملكته بدون منازع، ويجب أن نلتزم بقوانين البلد التي نعيش فيها.

ليس هناك متسع في النواة للإلكترون وسحابته الاحتمالية. كما أن الإلكترون يدور كالمغزل، أو كالنحلة الخشب التي نلعب بها ونحن أطفال. كما أنه، إذا أضفنا أو طرحنا كمية دورانه إلى دوران النواة، كانت النتيجة خطأ في حساب كمية دوران النواة.

إذن، من أين يتولد الإلكترون في النواة، وهو لم يكن موجودا بها أصلا؟ هذا مثل القول بأن الهرم الأكبر، حجارته تطلق رصاصات، وهو لا يحتوي أصلا على رصاصات! حقا النواة أمرها عجب.

مما يزيد الأمر صعوبة وحيرة، هو أن اطلاق الإلكترونات من النواة، يخل بمبدأين من مبادئ الفيزياء العامة: مبدأ بقاء الطاقة، الطاقة لا تفنى ولا تستحدث. المبدأ الثاني، مبدأ بقاء كمية الحركة، هي الأخرى لا تفنى ولا تستحدث.

الجسم الذي يسير بسرعة منتظمة، يظل يسير بنفس السرعة. والذي يدور حول نفسه، يظل يدور، ما لم تؤثر عليهما قوة خارجية تغير من وضعهما.

الآن لدينا نواة تشع طاقة في صورة أشعة بيتا وهي جسيمات مكونة من إلكترونات. نتوقع أن هذا الإشعاع، يتسبب في تغيير مستويات الطاقة داخل النواة.

لكن الإلكترونات الخارجة من النواة، ليست لها خطوط طيف تدل على تغير مستويات الطاقة في النواة. هذا عكس ما يحدث بالنسبة لسحب الإلكترون حول النواة، فتوجد بها خطوط طيف تدل على انتقال مستويات الطاقة.

ماذا يعني هذا؟ هل يعني أن النواة تستعصي على قوانين الميكانيكا الكمية؟ أم يعني أن أشعة بيتا تخالف قانون بقاء الطاقة؟ وهما أمران، كلاهما مر. كما أن دوران الإلكترون المغزلي الخارج من النواة، المفروض أن يؤثر في دوران النواة المغزلي. لأنه يجب طرح كمية دوران الإلكترون من كمية دوران النواة حول نفسها.

هذا بسبب قانون بقاء كمية الحركة المغزلي. لكن النواة تبقى كما هي بدون تغيير. هل يمكن أن يكون الإلكترون قد ترك حركته المغزلية في النواة؟ هذا مستحيل. مثل آلة وترية بدون أوتار، أو عالم بدون دماغ، أو مسبحة بدون حبات.

وولفجانج باولي

أية حلول أو اقتراحات لهذه المدلهمة العظمى، لم تكن مجدية. إلى أن طل علينا "وولفجانج باولي" بطلعته البهية. باولي هذا للتذكرة، عالم ألماني خطير. هو صاحب توزيع مستويات الطاقة في الذرة، والذي تنبأ بوجود النيوترينو وأشياء أخرى.

هو الذي منعنا من وضع أكثر من 2 إلكترون في نفس السحابة الواحدة. واشترط أن يكون لهما دوران معاكس. هذا المبدأ ينطبق أيضا على البروتونات والنيترونات.

ونحن في قمة الحيرة من أمر هذا اللص الهارب بطاقته ودورانه المغزلي من النواة دون أن يترك وراءه أي أثر للسرقة، صرخ باولي في وجوهنا قائلا: هذا اللص له شريك في الجريمة. فما هي طبيعة هذا الشريك؟

عندما تشع النواة بيتا، تكتسب شحنة موجبة تعادل شحنة الإلكترون الهارب، لا أكثر ولا أقل. إذن هذا الشريك ليس له شحنة كهربائية. أي أنه متعادل مثل النيترون.

شريك اللص الهارب، له لف مغزلي يساوي اللف المغزلي للإلكترون الهارب، لكن في عكس اتجاهه. فيلغي لف كل منهما لف الآخر. بذلك لا تفقد النواة أية حركة مغزلية. أخيرا، الإلكترون وشريكه يحملان فيما بينهما، أكبر طاقة يمكن أن يحملها الإلكترون الهارب من النواة.

هذه الطاقة المسروقة من النواة، هي طاقة كمية. بمعنى أنها تعادل الفرق بين مستوين للطاقة داخل النواة، قبل إشعاع بيتا وبعدها. لكن الحمل ثقيل لكي يحمله أحدهما وحده، اللص وشريكه.

لذلك يقومان بتوزيع الطاقة فيما بينهما. توزيع الطاقةهذا، الذي يأخذ كل القيم الممكنة، هو الذي يجعل التحليل الطيفي لأشعة بيتا متجانسا. فلا تظهر خطوط به تدل على تغير مستويات الطاقة. لكن مستويات الطاقة في النواة موجودة.

بذلك، نحافظ عي مبدأ مستويات الطاقة في النواة، وقانون بقاء الطاقة وقانون بقاء كمية الحركة المغزلية، بطريقة عبقرية، اقترحها الجهبذ "وولفجانج باولي".

الإلكترون اللص، تم القبض عليه فورا. وعرف أصله وفصله سابقا. لكن شريكه يبدو أنه مراوغ ألعبان. بطريقة غير مباشر، قام العلماء بحساب كتلته، فوجد أنها تقترب من الصفر. تقريبا أصغر ألف مرة من كتلة الإلكترون. كتلة تقترب من المفيش.

أخيرا، وجدنا الشريك اللص الذي نبحث عنه. ليس له شحنة كهربائية مثل النيترون، وليس له كتلة من الناحية العملية. لكن له طاقة وحركة مغزلية، أي يدور مثل المغزل. لذلك أطلق عليه اسم "نيوترينو"، وتعني النيترون الصغير. روح بدون جسد. عفريت لمن لا يؤمن بوجود العفاريت.

لكنه يختلف عن النيترون في كل شئ، فيما عدا أن كلاهما متعادل الشحنة. تقول الحسابات أن النيوترينو يستطيع أن يخترق هذا العالم المرئي لمدة مليون سنة ضوئية، بدون أن يشعر بوجده أحد. حتى لوكان مساره حائط من الفولاذ عرضه مسافة سنة ضوئية.

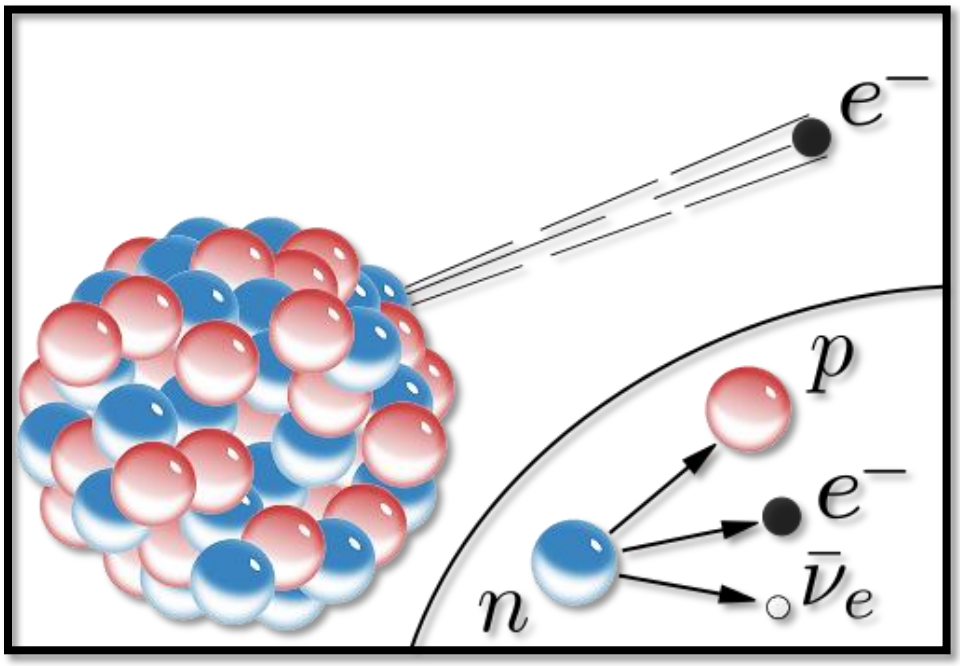
لكن، دعنا نعود لقضيتنا الأساسية، وهي من أين يأتي الإلكترون الذي ترسله النواة على هيئة أشعة بيتا؟

نعرف أنه داخل النواة، تتحول البروتونات إلى نيترونات، وبالعكس. يشع البروتون باي-ميزون موجب ويتحول إلى نيترون. ويمتص النيترون باي-ميزون موجب فيتحول إلى بروتون.

نعرف أيضا أن النيترون يمكنه أن يشع باي-ميزون سالب ليتحول إلى بروتون. ربما يكون هذا ال باي-ميزون السالب هو الذي يهرب من النواة على صورة إلكترونات.

كلا وألف كلا. القياس الدقيق لكتلة ال باي-ميزون تسفه هذا الفرض. كتلة باي-ميزون واحد تعادل 273 كتلة الإلكترون. لكن النواة تشع إلكترونات، لا باي-ميزونات. ال باي-ميزون لا يغادر النواة أبدا. زوجة سي السيد في ثلاثية نجيب محفوظ.

بعد اكتشاف النيترون بعدة سنوات، اكتشف العلماء أن النيترون جسيم غير مستقر. هذا النيترون، يتحلل خارج النواة، في مدة لا تزيد عن 15 دقيقة. يتحول إلى بروتون وإلكترون ونيوترينو. هذا هو التحول الذي يعطينا الإلكترون والنترينو.



النيوترون خارج النواة يتحلل إلى بروتون وإلكترون ونيوترينو

يبدو أن لغز أشعة بيتا على وشك الحل. أليست هذه الجسيمات، الإلكترون والنيترينو، يأتيان من النواة؟ باقي مشكلة واحدة. وهي أن النيترون الحر خارج النواة، يتحلل في أقل من 15 دقيقة، لكنه داخل النواة ليس حرا طليقا.

إذن، لابد أن النيترون يستطيع التحول إلى بروتون بطريقة أخرى. أو ربما يكون النيترون حرا لفترة زمنية قصيرة داخل النواة. أبدا. هذا غير ممكن، ولا حتى لحظة واحدة.

داخل النواة، يحلو للعلماء تشبيه البروتونات بأحجار البناء للذرة، والنيترونات بالاسمنت الذي يجعل البناء متماسكا. فماذا يحدث لو أن البناء نفسه غير مستقر، أو أصيب بقذيفة نيترونات من الخارج؟

هنا تقوم النواة بإعادة الاستقرار، عن طريق تحويل الاسمنت إلى صخور، إذا وجد الكثير منها وأصبحت تهدد البناء. أو تحويل الصخور إلى اسمنت إذا زادت عن الحاجة.

البروتون، حجر البناء، عندما يتحول إلى نيترون، يتخلص من شحنته الموجبة ويرسلها على هيئة بوزوترون. البوزوترون نسخة من الإلكترون ولكن بشحنة موجبة. وعندما يتحول النيترون إلى بروتون، يرسل إلكترونا وبذلك تزيد شحنة النواة.

كم يستغرق هذا التحول من زمن داخل النواة؟ هذا يتوقف على حالة النواة نفسها. قد تمنع حالة النواة حدوث التحول. بذلك تعيش النواة قبل أن ترسل أشعة بيتا مئات أو آلاف السنين. وقد تسمح حالة النواة بالتحلل وإشعاع بيتا في التو واللحظة.

وراء تحلل النواة وإشعاعها بيتا، قوى هائلة. تم اكتشافها في منتصف القرن العشرين. مما غير العديد من المفاهيم في الفيزياء.

من الأشياء الغريبة التي صادفتنا ونحن نبحث عن مصدر أشعة بيتا، هي أن النواة لا تشع إلكترونات فقط. في بعض الأحيان النادرة، يأتي مع الإلكترون، قرينه البوزوترون. البوزوترون موجب الشحنة والإلكترون سالب الشحنة.

كيف تسنى لجسيمات لم توجد من قبل في النواة، الخروج منها. الوضع الآن أصبح أكثر تعقيدا. يمكن أن نفهم أن الإلكترون يأتي من نيترونات النواة. لكن من أين يأتي البوزوترون الموجب الشحنة؟ سنترك الحديث عن البوزوترون ومكتشفه بول ديراك، إلى حين مناقشة النظرية النسبية وعلاقتها بالميكانيكا الكمية.

هل تعلم أن النواة تتغذى على إلكترونات من السحب المحيطة بها. يسمي العلماء هذا السلوك الشرس للنواة بالالتقاط. كيف يحدث ذلك؟

قلنا سابقا، بطريقة غير مباشرة، أنه من المستحيل قيام الذرة بالانتحار بسقوط الإلكترونات فيها. لذلك جاءت مدارت بور وسحب الإلكترونات لكي تمنع ذلك. هي

محطات حول النواة تمنع الإلكترون من فقد طاقته على طول الخط والسقوط في النواة.

في الذرات الخفيفة، حيث تكون شحنة النواة صغيرة ويوجد بها بعض الإلكترونات، يكون المنع لكي لا تصل سحب الإلكترون إلى النواة، لكن في الأنوية الثقيلة، الإلكترونات القريبة من النواة تجد نفسها في حالة لا تحسد عليها.

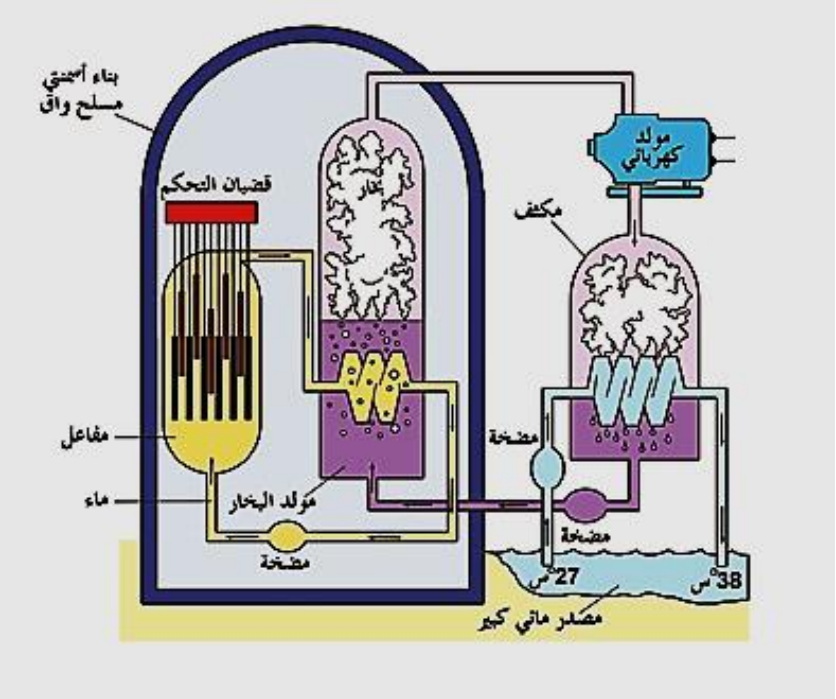
هي في حالة طرد من باقي الإلكترونات كثيرة العدد خارج النواة. في نفس الوقت، تجد نفسها في حالة جذب من النواة موجبة الشحنة. الإلكترونات لا تستطيع تحمل هذا الوضع لمدة طويلة. تبدأ سحابة الإلكترون في الدخول إلى المنطقة المحرمة. هنا تلتقط النواة الإلكترون.

عندما يسقط الإلكترون في النواة، ماذا يحدث؟ تفقد النواة من شحنتها مقدار شحنة الإلكترون. لكن ماذا يحدث لدورانها؟ لن يمس، لأن كمية الدوران تنتقل إلى جسيم آخر من جسيمات النواة. النيترينو.

النيترينو في هذه الحالة، يظهر عند موت الإلكترون ووفاته إلى رحمة الله، وليس مرافقا له، كما أسلفنا، عند الهرب من النواة. بذلك يكون النيترينو هو الشاهد الوحيد على هذه الجريمة البشعة داخل النواة. أو عفريت الإلكترون المتوفي. وكما نعلم، من الصعب جدا مسكه لسؤاله والتحقيق معه.

لكي تقبض على نيترينو واحد، أمر غير ممكن. الطريقة الوحيدة أن تدعوا جيشا منهم. عندها، يمكن أسر بعضهم. هذا بالضبط ما حدث، عندما بدأت المفاعلات الذرية تنتج تدفقات كبيرة من النيترونات.

عندما كانت النيترونات تمتص بجدران المفاعلات، أصبحت الجدران مشعة لبيتا. ومعها كميات ضخمة من النيترينو كل ثانية. هي تنفذ بكل سهولة ويسر من الحواجز والدروع الخاصة بالمفاعل الذري، التي تمنع تسرب النيترونات وأشعة جاما.



مفاعل ذري لتوليد الكهرباء

بالقرب من المفاعل الذري، يوجد عداد وميضي خاص، يقوم بقياس الومضات، به سائل ملئ بأنوية الهيدروجين. بعد سلسلة تفاعلات وحسابات، تم العثور على ما كنا نبحث عنه. قياس ومضتين متعاقبتين من العداد، أثبتت صحة ما قد تنبأ به رائد من رواد الميكانيكا الكمية قبل ذلك ب 25 سنة، وولفجانج باولي. لقد تم اكتشاف النيترينو.

الباب الثالث عشر

الفراغ الكوني ليس فراغا

بول ديراك

كان بول ديراك، عالم الفيزياء الانجليزي الشاب، يبحث عن طريقة لدمج نظرية النسبية الخاصة في معادلة شرودينجر. لكنه وجد المعادلة الناتجة من الدمج لا تصلح في كل زمان ومكان. النتيجة، معادلة ليست "ثابتة النسبية" (Relativistic invariant).

للخروج من هذه الورطة، اقترح ديراك شيئا غير مألوف. قام باستبدال الدالة الوحيدة المستخدمة كمتغير في المعادلة، بأربع دوال. المعادلة الجديدة، لم تعد تشبه معادلة شرودينجر الأصلية. لكنها أعطت نتائج باهرة، وحلولا تصلح في كل مكان وزمان. أي حلول "ثابتة النسبية" كما يحلوا للعلماء تسميتها.

انتظر لحظة. أربع دوال موجية في المعادلة، يعني أربع حلول احتمالية لموجة الإلكترون، بدلا من موجة احتمالية واحدة. كيف يستطيع العقل تصور ذلك؟ إذا كانت موجة واحدة احتمالية، جعلتنا في حيص بيص، فما بالك بأربعة. المثل الشعبي يقول مع العذر لمفراد اللغة: "شيلوه النعجة، ضرّط. قالوا الحقوه بالتانية".

معنى الحلين الأولين لمعادل ديراك، كان سيستعصي على الفهم لسنوات عديدة، لولا اكتشاف لف الإلكترون حول نفسه قبل ذلك بثلاث سنوات. لقد وجدنا أن الحلين، لهما علاقة بطريقة لف الإلكترون بالنسبة لاتجاه سيره حول النواة.

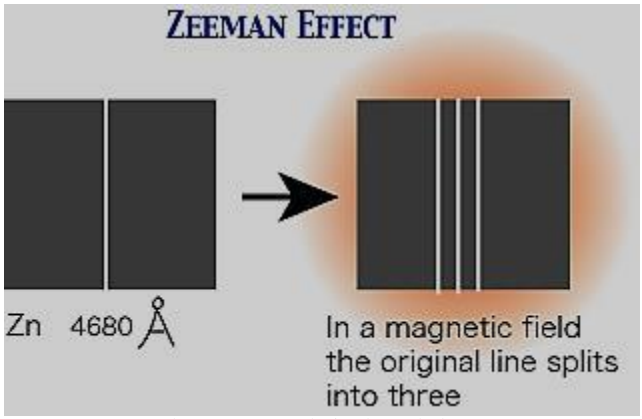
تم حساب مقدار لف الإلكترون من معادلة ديراك، فثبت أنها تتفق تماما مع نتائج التجربة العملية. برافو ديراك، 25 سنة. البركة في الشباب اللي زي الورد. في الحقيقة، نحن نحتاج، إلى جنون الشباب وحكمة الشيوخ. أقصد حكمة كبار السن. ولو أنني أشك في وجود الحكمة من أصله في بلادنا.

أعتقد أن هذا هو الوقت المناسب للحديث عن حكاية لف أو دوران الإلكترون حول نفسه. أولا الإلكترون يلف حول نفسه بسرعة تقترب من سرعة الضوء. ثانيا، اللف بهذه السرعة، ليس له علاقة بدوران الإلكترون حول النواة، أو حتى بحركته خارج النواة. ليس هناك فرق بين كون الإلكترون يتحرك بسرعة أو ببطء أو حتى واقفا ينتظر الأوتوبيس. قيمة اللف واحدة في كل الحالات.

مقدار لف جسيمات الذرة، وهي بالمناسبة كلها تدور كالمغزل، خاصية جوهرية لا تقل أهمية عن مقدار كتلتها أو طاقتها. لكن، كيف عرفنا أن الإلكترون وباقي الجسيمات، وهي بهذا الصغر، تلف كالمغزل أو كالنحلة الخشب التي كنا نلعب بها ونحن أطفالا؟

بيتر زيمان

في نهاية القرن التاسع عشر، وجد أنه لو وضعت مادة في مجال مغناطيسي، فإن خطوط طيفها تنقسم إلى العديد من الخطوط الباهتة. لقد تبين فيما بعد، أن نفس الشئ يحدث لخطوط طيف كل الذرات على اختلاف أنواعها. هذه الظاهرة تسمى "تأثير زيمان".



خط طيف عنصر الزنك في المجال المغناطيسي ينقسم إلى ثلاثة خطوط

تفسير، لماذا الخطوط العديدة الباهتة، بدلا من خط واحد واضح، جاء على يدي "أوهلينبك" و"جودسميت" عام 1925م. السبب هو اللف المغزلي. معنى أن الإلكترون له لف مغزلي، يعني أن له كمية حركة زاوية. كمية الحركة تسمى أيضا الزخم أو العزم. لكنني أفضل استخدام كمية الحركة لأنها أسهل في الفهم.

سبب اللف المغزلي لا يهمنا الآن. المهم أن هناك حركة تحدث للإلكترون المشحون. هذا يعني وجود تيار كهربائي ناتج من الإلكترون. لكن الكهرباء لها علاقة بالمغناطيسية. فهل الإلكترون عبارة عن مغناطيس صغير؟

إذا وضعنا مغناطيسا صغيرا من هذا النوع في مجال مغناطيسي، سيعدل من وضعه واتجاهه داخل المجال المغناطيسي. إما أن يأخذ اتجاه المجال ويكون مستقرا، وإما عكس اتجاه المجال ويكون غير مستقر. أو يأخذ وضعا، بين بين.

عندما يأخذ المغناطيس اتجاه المجال المغناطيسي، تكون طاقة وضعه أقل ما يمكن. وعندما يأخذ وضع عكس اتجاه المجال، تكون طاقة وضعه أكبر ما يمكن. فما الفرق بين الطاقتين بلغة الكم؟

هذا من السهل حسابه، وترجمته إلى الفرق بين طول موجات الفوتونات المنبعثة من الذرة، في كل حالة من حالات لف الإلكترون المغزلي. مع وضع المجال المغناطيسي وعكس وضعه، أو وضعه بين بين.

حسابات الفرق بين أطوال موجات الخطوط الباهتة، وافقت تماما نتائج التجارب العملية. الإلكترون مغناطيس صغير، له لف مغزلي تم قياسه.

ولنعود إلى معادلة ديراك. المعادلة لها حلان آخران.

الحلان الباقيان متشابهان تماما، فيما عدا أنهما يمثلان اتجاهين معاكسين للف الإلكترون. الإتجاه المعاكس بتاع قناة الجزيرة. أحدهما يمثل مجموع طاقة الإلكترون الموجبة، والآخر مجموع طاقته السالبة.

لا شئ غريب في الأمر هنا. مجموع الطاقة يمكن أن يكون موجبا أو سالبا. هذا يتوقف على ما إذا كان الإلكترون حرا طليقا، أم مقيدا وجزءا من تركيبة الذرة.

لكن معادلة ديراك كتبت لتطبق على الإلكترون الحر الطليق. كيف يكون له طاقة موجبة وطاقة سالبة؟ هل يعني هذا أن الإلكترون حر طليق، ومقيد في نفس الوقت؟ هذا محض هراء. ديراك نفسه تيقن أن النتيجة كلام فارغ.

أبسط حل، هو اهمال ما لا يعجبك من نتائج. مثل حل معادلة جبرية، تعطيك طول ضلع المربع، موجب أو سالب 4 قدم. نأخذ القيمة الموجبة ونهمل السالبة. قيمة ضلع المربع السالبة لا تتفق مع الفطرة السليمة. في حالتنا، يمكن اهمال الطاقة السالبة للإلكترون الحر، لأن هذا ليس له معنى من وجهة نظر الفيزياء.

لكن ديراك ليس في عجلة من أمره. رجل إنجليزي، مشحون بالفطرة السليمة والانضباط كباقي بني جلدته. لكنه كعالم فيزياء كمية، به شئ من الجنون. بدأ يبحث الظاهرة التي نصفها بأنها محض هراء. إذ ربما ينتج من الهراء شئ له معنى.

إذا بديراك يفاجئنا بفكرة مثيرة للغاية. الحل الذي نعتبره هراء وكلاما فارغا، لا يخص الإلكترون. ولكن يخص جسيم آخر مثل الإلكترون، لكن له شحنة موجبة. الإلكترون شحنته سالبة. يختلف عن البروتون، لأن كتلة البروتون ألفين ضعف كتلة الإلكترون تقريبا. بينما الجسيم الجديد يعادل الإلكترون في الكتلة.

لكن هذا لا يفسر مجموع طاقته السالبة، وهو موجب الشحنة. إذا كان مجموع طاقته، مقدارا سالبا. فمعنى ذلك أنه مرتبط بشئ آخر.

الإلكترون حر تماما، كل الجسيمات في معادلة ديراك حرة طليقة. الإلكترون يتحرك بمفرده غير مقيد في الفراغ المطلق. فمن أين يأتي هذا الجسيم الموجب الشحنة والمساوي للإلكترون في الكتلة، والذي له طاقة سالبة.

هنا ارتفعت درجة الجنون إلى أقصاها وبلغت مداها. اسماعيل يس في مستشفي المجانين. الفراغ الذي كنا نعتقد أنه لا يحتوي على أية جسيمات، ليس فراغا خاليا بالمرة. بل العكس، هو ممتلئ حتى التخمة، لدرجة أنه يفيض بالإلكترونات. الجسيمات الموجبة التي نبحث كنهها، ما هي إلا ثقوب في هذا الفراغ الكوني. الله أكبر!

ألا إن هذا هو الجنون بعينه. جنون مكتمل الأركان. ما نسميه فراغا، هو المكان الذي لا نرى أو نسمع أو تحس أجهزتنا بداخله شيئا، حتى لو كان جسيما واحدا من جسيمات الذرة.

الآن رجاء الهدوء، والاستماع بتمعن. الذي نسميه فراغا، به جسيمات لا تتفاعل مع أجهزتنا مهما بلغت درجة حساسيتها. لذلك لا نشعر بوجودها. من ثم نسميه فراغا. حتى لو كان هذا الفراغ ممتلئا عن آخره، سنسميه فراغا. أليس كذلك؟

ما يقوله ديراك مخالف لكل منطق وفطرة سليمة. الفراغ ممتلئ عن آخره بالإلكترونات. الكون كله عبارة عن فراغ لانهائي. يمتلئ بكميات لانهائية من الإلكترونات.

البئر عميق ورحيب

البئر الكوني الذي توجد به الإلكترونات، عميق ورحيب. تتراوح مستويات الطاقة به من الصفر عند الحافة، إلى مقدار طاقة يساوي (الكتلة في مربع سرعة الضوء) عند القاع. لذلك كل الإلكترونات في هذا الفراغ يجب أن تكون طاقتها سالبة. الإلكترون عندما يكون في البئر، طاقته سالبة. نحن نتكلم عن الطاقة وليس الشحنة.

لا توجد أجهزة تستطيع الكشف عن إلكترونات هذا الفراغ، إلى أن تقفز خارجة من البئر. لكي يهرب الإلكترون من حاجز بئر الفراغ، يلزمه التغلب على حاجز ارتفاع البئر، وهي طاقة = (كتلته مضروبة في مربع سرعة الضوء). بالإضافة إلى طاقة سكون بنفس المقدار، وهي الطاقة المخزونة في كتلته. إذن الحاجز الذي يفصل الإلكترون عن أجهزة القياس هو ضعف (الكتلة في مربع سرعة الضوء). الكتلة في مربع سرعة الضوء هي معادلة أينشتاين الشهيرة، $E=mc^2$

إذا وجدت صعوبة في فهم هذا الكلام، فيكفي أن تعرف أنه يلزمنا طاقة كبيرة لكي يخرج الإلكترون من بئر الفراغ إلى العالم الخارجي. هل تستطيع إخراج الماء من البئر بدون عضلات؟

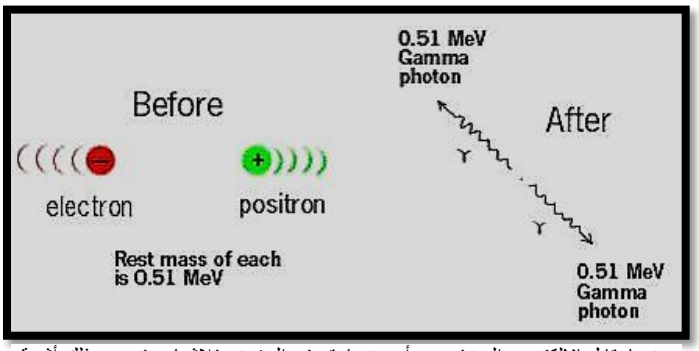
هذه طاقة ضخمة. عندما نشر ديراك أفكاره عن الفراغ الممتلئ بالإلكترونات، كانت هذه الطاقة في ذلك الوقت مجرد حلم. لهذا لم يمكن اكتشاف إلكترونات الفراغ بأجهزتنا. هذه الإلكترونات لا يمكنها التفاعل مع بعضها أو أي جهاز آخر. يمكنها العيش معنا أطول مدة ممكنة بدون أن نشعر بها.

نفترض أن الإلكترون لسبب ما استطاع الحصول على الطاقة اللازمة للقفز من بئر الفراغ إلى الخارج. الآن هو حر طليق له طاقة موجبة. لماذا؟ لأن نصف طاقته أنفقها في الخروج من البئر، والنصف الآخر هو ما تبقى له وهي طاقة موجبة. هو مثل أهل الكهف، بعد أن استيقظ من رقاده الأبدي. فماذا يحدث للفراغ بعد الفرار؟

ماذ يحدث عندما تنزع مسمارا من قطعة خشب؟ ثقب بالطبع. تشبيه رائع لكنه يقف عند هذا الحد. الثقب في الفراغ الكوني، لا يختلف عن الإلكترون. هو جسيم حقيقي له طاقة ساكنة (وهي طاقة أينشتاين المخزونة في كتلته وتعادل الكتلة في مربع السرعة). هي تعادل أعمق مستوى طاقة في البئر.

الإلكترون الهارب، يستطيع أن يروم الفضاء ويعود إلى الفراغ الكوني لكي يسقط في حفرة خالية، فيتلاشا كلا منهما في آن واحد، الإلكترون والحفرة. ويختفيان من الوجود. كلام ناس مساطيل أو مهابيل بالتأكيد.

لكن الأمر لا ينتهي هنا. الإلكترون عليه أن يتخلص من الطاقة التي أخرجته من الحفرة. لكن في أية صورة؟ في صورة أشعة جاما.



عندما يقابل الإلكترون البوزترون، أو عندما يقع في الحفرة، يتلاشيا وينتج عن ذلك أشعة جاما

استمع علماء الفيزياء إلى ديراك وهم يهزون رؤوسهم. حتى أشد المؤمنين بالميكانيكا الكمية، رفض أخذ نظرية ديراك على محمل الجد. واعتبرها نكتة سخيفة ومسألة إضاعة وقت. لكن يلزمنا قوة عزيمة وإصرارا للوقوف بجانب هذا الفرض المجنون. فيلم اسماعيل يس في مستشفي المجانين.

لكن لم يمض وقت طويل قبل أن يتراجع المتشككون والمحتقرون لنظرية ديراك. المثل الشعبي يقول، "خللوا بالكم من عيالكم". بمعنى: راقبوا ما يقوله أطفالكم، فهم مكشوف عنهم الحجاب.

في عام 1932م، بلاكيت الانجليزي و أوتشيالمي الإيطالي، قاما بتعريض ألواحا فوتوغرافية إلى الأشعة الكونية. فوجدا بها مسارين. أحدهما للإلكترون، والآخر لجسيم غير معروف، له نفس الكتلة لكن بشحنة موجبة.

المساران ينبعان من نقطة واحدة لكن في اتجاهين مختلفين. وحيث أن الصور الفوتوغرافية أخذت في غرفة خاصة موضوعة في مجال مغناطيسي، اختلاف المسارين يعني شئ واحد: هو اختلاف الشحنة الكهربائية لهما.

الثقب في الفراغ الكوني تم اكتشافه. أعطي اسم بوزوترون، اختصارا ل "إلكترون موجب". هو أول مضاد للجسيمات تم اكتشافه. يسمى أيضا مضاد الإلكترون.

نظرية ديراك أصبح لها مكانا مرموقا في عالم الفيزياء. لقد فتح ديراك أعين علماء الفيزياء على تصور جديد لعالم جسيمات الذرة متناهي الصغر، عالم مضادات المادة.

الفراغ بالنسبة لمفهومنا التقليدي، هو الفضاء الخالي من المادة والضوء والموجات بكل أنواعها. حتى خالي من العفاريت والشياطين والجان وأبو رجل مسلوخة وأمثاله. يعني كده عتمه ما فيهاش حاجة خالص.

لكن الفراغ، بالنسبة لهذا العبقري الانجليزي الفذ، ديراك، لا يا محترم. ده محيط، إقيانوس، ومكان ملئ ومكتظ بالإكترونات عن آخره. هذه الإلكترونات، لا تتفاعل وليس لها دخل بالجسيمات خارج هذا الفضاء الرحيب الممتد إلى مالانهاية. النجوم والمجرات والمادة وخلافه.

عندما يترك الإلكترون الفراغ ويهاجر إلى العالم الآخر، يولد في الحال قرينه، مضاد الإلكترون، البوزوترون. عارفين حكاية كل واحد له قرين. الرجل له قرين أنثى، والأنثى لها قرين ذكر؟ في علم النفس، الرجل له الأنيما الأنثى، والأنثى لها الأنيمس الذكر في العقل الباطن. حاجة زي كدة. هذه الجسيمات، تعيش وتموت أزواجا أزواج. كل واحد يولد ويموت ومعاه قرينه.

هل يمكن القول أن الفراغ ملئ بالبوزيترون، وأن الإلكترونات تظهر فقط عندما تهاجر من الفراغ؟ الصيغة الأساسية لنظرية ديراك تقول: إن احتمال حدوث الأمرين يأتي مناصفة.

لكننا نعطي الأفضلية لفكرة: إن الفراغ مليء بالجسيمات، لا مضادات الجسيمات. السبب، هو أن الإلكترون في كل مكان حولنا، بينما البوزيترون، مضاد الإلكترون، في الواقع هو ضيف نادر الوجود في عالمنا هذا الذي نعرفه. عالم الظلم والغبن.

من هنا يجب أن نخلص إلى أن عدد البوزيترونات أقل بكثير من عدد الإلكترونات. لكن نظرية ديراك تقول أنه لكل إلكترون، مضاد اسمه بوزيترون. هذا يعرف عند بتوع الرياضة البحتة، وهم مجانين أيضا، بالدالة التقابلية.

يعني كل عضو في المجموعة س يقابله عضو واحد فقط في المجموعة ص، قرين، والعكس صحيح. هذا يذكرني بحكاية جحا والبط. وهي تقول بأن جحا كان يقوم بالعناية ببط الملك. فأعجبته بطة قام بذبحها وطبخها والتهامها بالهناء والشفاء.

بلغ الأمر الملك، فقال له لم أكلت البطة يا جحا؟ أنكر جحا وزعم أن البط كامل العدد. هنا أراد الملك أن يفحم جحا ويثبت له بالتجربة العملية أنه حرامي ماكر وكذاب أشر. فطلب من 100 جندي من حراسه أن يمسك كل واحد منهم بطة.

لم أكلت البطة يا جحا؟

أمسك كل منهم بطة، وبقي أحدهم بدون بطة. لأن العدد كان 99. فنظر إليه جحا شذرا وقال له، يا أخي أمامك كل هذا البط، ولا تعرف أن تمسك منهن واحدة؟ هذه هي الدالة التقابلية.

من ذلك نستنتج أن عدد البوزيترونات لا يقل عن عدد الإلكترونات في هذا الكون، حسب نظرية ديراك.

شئ غريب! منتهي الغرابة! عالمنا موجود، نحن أيضا، أنا وأنت، موجودان. ولا يوجد شئ، يمنع الإلكترونات من الوقوع في حفر البوزيترونات، لينتهي كل شئ ولا يبقى إلا وميض أشعة جاما، والعمل الصالح.

هذا لا يحدث لأن البوزيترون لا يقابل الإلكترون إلا في النادر. لهذا يجب عدم القلق من أن الكون سيصبح فراغا كميا. إذ ربما تحرص الطبيعة على فصل البوزيترونات عن الإلكترونات بقدر الإمكان.

هذه فكرة شائعة بين كتاب الخيال العلمي وبعض العلماء. يقولون أنه في مكان ما في هذا الكون، عوالم مصنعة من البوزيترون. لذلك هي أيضا عوالم مضادة لعالمنا

هذا الذي نعرفه. وربما تكون صورة أو مرآة لعالمنا هذا. في هذه العوالم، البوزيترون موجب الشحنة هو السيد، والإلكترون سالب الشحنة هو المضيف النادر الوجود.

السؤال التالي: إذا كان للإلكترون جسيم مضاد، لماذا لا يوجد مضاد للبروتون، هو الآخر؟ ومتى يكون لنا فراغا أو بئرا من البروتونات؟ بصفة عامة، كل جسيمات الذرة، يجب أن يكون لها مضاداتها. ومن ثم، فراغا خاصا لكل منها.

هذا الفراغات، يجب أن تكون ممتلئة عن آخرها بجسيمات النيترونات، البروتونات، النيوترينو، الميزون. تعمل كمستودع أو كبئر، يخزن فيه مالم يولد من جسيمات. برزخ تخزن فيه الأرواح. أنا بنكت، اللهم اجعل كلامنا خفيف عليهم.

الجسيمات، يمكنها الهرب من البئر أزواجا أزواجا، عندما تحصل على طاقة كافية. أول من يهرب من البئر، هي الجسيمات الخفيفة. النيوترينو والإلكترون. بالنسبة للبروتون، الطاقة يجب أن تكون أكبر ألفين مرة تقريبا من طاقة الإلكترون. كلما زاد حجم الجسيم، كلما كان هروبه أو ميلاده من الفراغ، أو بئر الوجود، أصعب. من الصعب إخراج الفيل من الحفرة. بعكس العصفور.

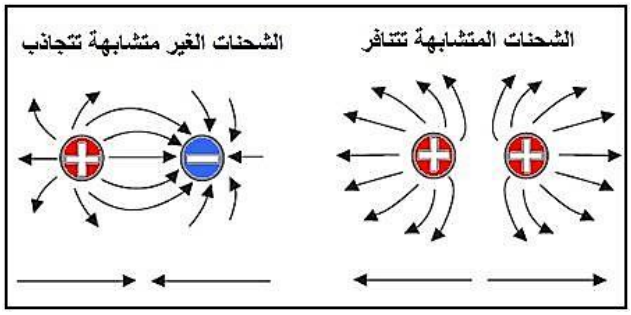
الباب الرابع عشر

كيف خلقت المادة من الفراغ؟

لعبة البلياردو

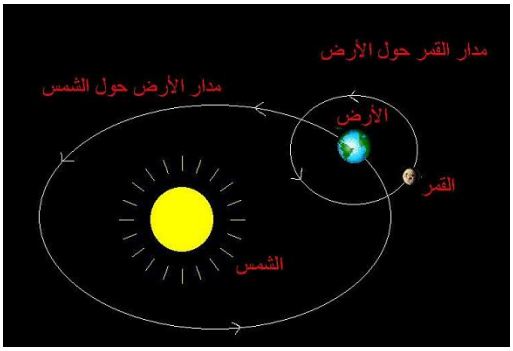
عندما تضرب كرة البلياردو، وهي لعبة أولاد الذوات، كرة أخرى، نرى نتيجة التصادم أن كرة تهرب في اتجاه ما، والأخرى تستمر في طريقها أو تغير اتجاهها. لكن حاول أن تحرك كرة ساكنة عن طريق كرة أخرى تمر بجانبها دون أن تمسها.

نكتة بالطبع، عامله زي حصان يجر عربة دون أن يكون مربوطا بها. الأجسام تتفاعل بالتلامس. كرة تضرب كرة أخرى، وحصان يجر عربة لأنه مربوط بها.



الشحنات تتنافر وتتجاذب عن بعد

هناك نوع آخر من التفاعل. تفاحة تسقط من على الشجرة، مغناطيس يلتقط مسمارا صغيرا. كرات مشحونة بالكهرباء، تتجاذب وتتنافر من بعد. الشحنات المختلفة تتجاذب، والمتشابة تتنافر. معنى التجاذب والتنافر، مثل الحب والكره، يبدآن في العمل من مسافة. لا دخل للهواء فيها. يحدث هذا حتى في الفراغ.



الأرض تجذب القمر والشمس تجذب كلاهما من بعد

الأرض تجذب القمر. الشمس تجذب كلاهما. بالرغم من أن الثلاثة يفصلها الفراغ. النواة، قلب الذرة، تجذب الإلكترونات. بالرغم من وجود "لاشئ على الإطلاق" بينهما. هذا يدل على أن الأجسام تتفاعل عن بعد، بدون أن يحدث بينها تلامس.

أكثر من قرن مضى، أطلق العلماء اسم "المجال"، على الفضاء الذي تحدث فيه عمليتي الجذب والتنافر عن بعد. لكن العلماء لم يكونوا مستعدين لقبول فكرة خلو هذا المجال من كل شئ. السبب؟

هو أن التفاعل لا بد له من وسيط. لابد من وجود وسيط يجعل المغناطيس يجذب قطعة الحديد عن بعد. من هنا جاءت فكرة الأثير. حاجة كدة علشان تشوش على فكرة الفراغ المطلق.

مرت السنون، والعلماء يحاولون فهم خواص هذا الأثير الذي طلع لنا في البخت. يريدون معرفة خواصه. هذا ما يجيده العلماء أكثر من أي شئ آخر، معرفة خواص الأشياء. فرض وجود الأثير، كان ضروريا لكي يفسر لنا كيف تأتي موجات الضوء من النجوم البعيدة، ولا شئ بيننا وبينها.

تجارب العلماء على الضوء لمعرفة طبيعة الأثير، أتت بنتائج متعارضة. نظرية النسبية الخاصة لأينشتاين، في بداية القرن العشرين، قامت بسحب خراطيم التنفس الصناعي لنظرية الأثير وتركتها تموت في سلام.

بث برامج الإذاعة عبر موجات الأثير واستقبالها بجهاز الراديو

لم نعد نسمع عن الأثير إلا عندما كانت سامية صادق، المذيعة المصرية في الخمسينات، تعلن: "الإذاعة المصرية تنقل لكم برامجها على موجات الأثير". والمسكينة لا تدري أن المرحوم الأثير قد مات وشبع موت. لا يوجد شئ اسمه الأثير.

سقطت نظرية الأثير قبل أن تولد، وقبل أن نجد نظرية بديلة. يئس العلماء من تفسير لماذا يحدث التفاعل عن بعد، وكيف تعبر موجات الضوء عباب البحر بدون بحر. قبلوا هذه الحقيقة وهم صاغرون.

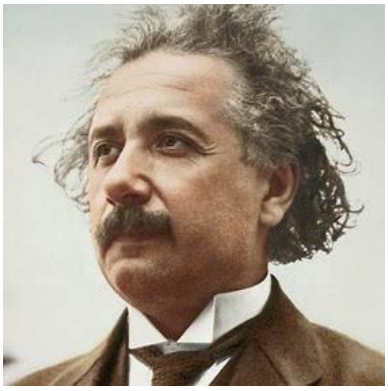
كيف يأتينا الضوء من المجرات البعيدة

لكن لا يزال السؤال يحير العلماء ويستعصي على الفهم، كيف تسنى لهذا "المفيش" أن يصبح مجالا، تتبادل فيه الأجسام الجذب والتنافر عن بعد، وتتذبذب فيه موجات الضوء لتأتينا من المجرات البعيدة؟

لقد قلنا سابقا أن الفطرة السليمة والعقل الرزين يصعبان علينا الأمور. يلزمنا شيئا من الجنون والهبل، أو حتى الجنون المتقطع. جدتي رحمها الله، كانت تقول: هذا الرجل عنده جنون متقطع، عندما لا يعجبها كلامه.

هذا الفضاء الكوني، به كل الأجسام. لا شك في ذلك. جزء من هذا الفضاء الكوني، مشغول بمادة نسميها أجساما. الشمس، النجوم، القمر، الذرة، إلخ. يوجد أيضا في هذا الفضاء الكوني، مكانا خاليا نسميه فراغا، أي فارغ من كل شئ.

ليس بين جزئي الفضاء الكوني، المكان الذي تشغله الأجسام والمكان الخالي، أي اتصال. المكان الخالي لا يؤثر في الأجسام، والعكس صحيح.


البرت أينشتاين

ثم يأتي شاب كان يعمل في مكتب تسجيل براءات الاختراع قبل أن يذهب للتدريس في الجامعة، لكي يقلب مفاهيمنا رأسا على عقب. هو البرت أينشتاين ونظريته، النسبية العامة.

نظريته السابقة، النسبية الخاصة، تتعامل مع السرعات المنتظمة التي تقترب من سرعة الضوء. النسبية العامة، تتعامل مع السرعات المتغيرة وأشياء أخرى. النسبية العامة تتعامل مع الأجسام والأماكن الخالية التي تحيط بها، والتي نسميها المجال.

النظرية تقول بصريح العبارة أن الأجسام تؤثر في الفراغ المحيط بها. الفراغ بمعنى الحيز الخالي الذي لا يوجد به أي شئ، والمحيط بالجسم. هذا الفراغ أو المجال، لن يصبح متجانسا متى وضع فيه جسم. الجسم يعكر صفو الفراغ.

تجربة الألواح الفوتوغرافية داخل مجال مغناطيسي، أثبتت أن ميلاد الإلكترون ومضاده البوزيترون يحدث في نفس الوقت. هذا يعني أن المجال أو الفراغ يمكن أن يتحول إلى مادة. كذلك، عندما يتقابل الإلكترون والبوزيترون يتحولان إلى عدم، وتنطلق أشعة جاما. عددها 2 فوتون.

أين ذهبت كتلتي الإلكترون والبوزيترون؟ تحولتا إلى شئ غير مادي. إلى ما يشبه المجال. بينما طاقتيهما تحولتا إلى أشعة جاما. الفراغ ليس به إلكترونات حقيقية. إنما إلكترونات تصورية بمفهوم ديراك. شئ يمكن أن يصبح حقيقي. الفراغ أو الخلاء أو المجال، هي أرواح في البرزخ تنتظر البعث.

الفراغ المفرّغ، بمفهومنا العام، الخالي من كل شئ، غير موجود في هذا الكون. غير موجود إلا في عقولنا. مثل الغول والعنقاء والخل الوفي. الموجود فقط ، مادة ومجال يملآن الكون. كل منهما له تأثير على الآخر، وكل منهما يمكن أن يتحول إلى الآخر.

أشعة جاما أيضا يمكنها أن تتحول إلى مادة، إلى أزواج، كل منها عبارة عن إلكترون واحد وبوزوترون واحد. بفرض طاقتها تعادل ضعف كتلة الإلكترون مضروبة في مربع سرعة الضوء. وهي طاقة تقاس بملايين وحدة الطاقة (إلكترو-فولت). بالنسبة لخلق بروتون واحد، نحتاج إلى آلاف الملايين من هذه الوحدة.

فوتونات طاقة الأشعة، مثل الضوء وألفا وجاما، إلخ. ستظل فوتونات، إلى أن تزيد طاقتها بقدر كاف. فتتحول بقدرة قادر إلى أزواج، مادة ومضادات المادة. عملية الخلق تبدأ من هنا.

الفراغ يعني إمكان تحول المادة إلى مجال كمي، والمجال الكمي إلى مادة. الفراغ أسهل في التصور من المجال. لكن الفراغ غير موجود. غير موجود يا ولدي. الموجود هو إما مادة، أو مجال يؤثر في المادة، ويمكن تحويل كل منهما إلى الآخر بالطاقة. الفراغ عبار عن بحر كوني، يقفز الدلفين أو جسيمات المادة، منه وإليه.

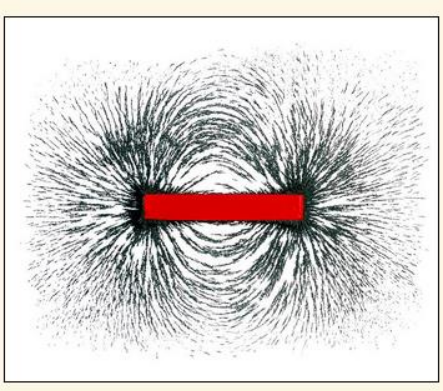
إلى هنا يجب أن أتوقف. الموضوع كبر، وسيكبر أكثر وأكثر. ونحن نلهث وراء هذا العالم المجنون الذي نعيش فيه، لكي نعرف إيه حكايته، لعلنا نقتبس شيئا من أسراره. وحيث أن شهرزاد قد أدركها الصباح، وسكتت عن الكلام المباح.

تخاريف الميكانيكا الكمية فاقت كل حد. لكنها تخاريف زي العسل. مبنية على نظريات علمية في غاية الروعة والرصانة لشبان زي الورد. مدعمة بالحجة والبراهين، ومؤيدة بالتجربة والمشاهدة.

الباب الخامس عشر

رحلة إلى أعماق النواة

هل يجوز لنا تطبيق مفهوم أينشتاين للمادة والمكان، الذي جاء بنظرية النسبية العامة، على عالم الذرة وجسيماتها الدقيقة؟



المغناطيس له مجال حوله

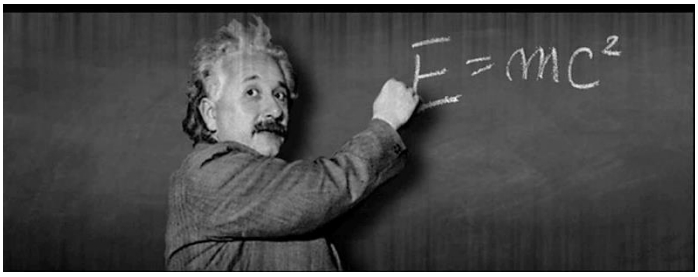
نعم، لنا الحق في ذلك. الفضل يرجع إلى الشاب دي بروجلي، الذي أخبرنا بأن الأجسام لها طبيعة موجية. إذن يمكننا القول بأن كل جسيمات الذرة لها مجال. مثل المغناطيس له مجال حوله.

كيف يظهر مجالا للجسيمات الدقيقة للذرة؟ لقد واجهنا حالة سحابة الإلكترون عندما تعذر تحديد مكانه بالضبط حول النواة. الإلكترون يوجد هنا، وفي نفس الوقت، ليس هنا. مبدأ عدم اليقين يقول، إذا رغبنا في قياس سرعته، فقدنا مكانه، والعكس صحيح. كذلك المجال، ليس له مكان معين، لأنه منتشر في كل مكان.

إذا قمنا بزيادة سرعة الإلكترون، زادت كتلته. هذا كلام أينشتاين. كتلة الطائر وهو طائر، أكبر منها وهو واقف على الشجرة ساكن أو يغرد. فمن أين يأتي الإلكترون بالكتلة الزيادة هذه؟

الإلكترون عادة تتزايد سرعته إذا وضعناه في مجال كهربائي، لأنه مشحون بالكهرباء. أثناء زيادة سرعته، المجال الكهربائي يؤثر في الإلكترون فيضيف إليه جزءا من طاقته. فتزيد كتلة الإلكترون.

زيادة طاقة الإلكترون معناها زيادة كتلته. لماذا؟ لأن الطاقة كتلة، والكتلة طاقة، حسب معادلة أينشتاين الشهيرة.



الطاقة كتلة، والكتلة طاقة حسب معادلة أينشتاين

لكن تزايد كتلة الإلكترون لها نهاية. كتلة الإلكترون تظل تتزايد مع زيادة السرعة، إلى أن تصبح سرعة الإلكترون تعادل 80% من سرعة الضوء.

في هذه الحالة، تتغير خواص الإلكترون كجسيم، وتصبح خواص الموجة هي المسيطرة. الإلكترون مستعد الآن للتحول إلى طاقة كمية في المجال، مثل الضوء فهو أيضا طاقة كمية. الجسيمات لا يمكنها أن تسير بسرعة تردد المجال التي تقترب من سرعة الضوء.

ناقشنا حتى الآن تحول الإلكترون أو البوزيترون إلى مجال كمي. بعد اكتشاف النيترون، وجد أنه قادر على التحول. لا إلى مجال كمي، وإنما إلى جسيمات أخرى.

داخل النواة، النيوترون يتحول إلى بروتون + "باي-ميزون". أما النيوترون الحر، فيتحول إلى بروتون + إلكترون + نيوترينو.

وجد فيما بعد أن ال "باي-ميزون" الحر، يتحول هو الآخر إلى "ميو-ميزون" + نيوترينو. وال "ميو-ميزون" يتحول بدوره إلى إلكترون + نيوترينو + مضاد نيوترينو. اسم باي-ميزون يختصر إلى "بيون". واسم ميو-ميزون يختصر إلى "ميون".

الملاحظ هنا هو أن البيون داخل النواة، لا يتحلل. الجسيمات داخل النواة، تقع تحت تأثير قوة كهربائية، وقوة شديدة تعمل على تماسك النواة. إذا كان هناك نوع جديد من القوى، فهذا يعني وجود مجال جديد. وإذا كان هناك مجال جديد، فهذا يعني وجود طاقة كمية جديدة.

فوتونات الضوء، هي طاقة كمية بالنسبة للمجال الكهرومغناطيسي. كذلك البيون، هو أيضا طاقة كمية لمجال النواة. للتذكرة، الباي-ميزون(البيون) هو الهدية التي يتبادلها البروتون مع النيوترون حتى تتماسك النواة.

الخلاصة، البيون، هو الطاقة الكمية لمجال النواة. لكن هذه الطاقة الكمية، تختلف عن طاقة الفوتونات. لأن كتلة البيون تعادل 300 ضعف كتلة الإلكترون. لهذا البيون لا يستطيع أن ينتقل بسرعة الضوء.

هنا نجد البيون له كتلة، وهو في نفس الوقت يمثل مجالا، أي ليس له لف مغزلي.

هناك فرق جوهري بين جسيمات المادة والمجال الكمي. الفرق هو اللف المغزلي. وجد أن جسيمات المادة الحقيقية، لها لف مغزلي مساوي لجزء من ثابت لابلانك، يعادل (ثابت لابلانك ÷ 4 ط). لكن المجال الكمي، إما أن يكون له لف مغزلي مساوي (ثابت لابلانك ÷ 2 ط)، أو لا يوجد له لف مغزلي على الإطلاق.

هذا يفسر لنا، لماذا الميون، الذي له لف مغزلي يساوي نصف اللف المغزلي للفوتون، لا يصلح أن يكون مجالا كميا. بعكس البيون، الذي ليس له لف مغزلي على الإطلاق.

هذه مفاجأة كبيرة لعلماء الفيزياء. إذ ربما يكون النيترون عبارة عن بروتون و بيون مضغوطين. لا، هذا غير ممكن. حساب الكتلات لا تتفق مع ذلك.

عندما ينبعث البيون، يفقد النيترون تقريبا مقدار 200 وحدة كتلة إضافة إلى ما فقده من مقدار كتلة البيون. كيف حدث ذلك؟

تخيل الآتي: نيوترون يتخلص من بيون سالب الشحنة، ثم يقذف بها إلى بروتون. يلتقطها البروتون فيتحول في الحال إلى نيوترون. النيوترون الذي فقد بيون، أصبح بروتون خفيف الوزن. بينما البروتون الذي اكتسب بيون، صار نيوترون زائد الوزن.

في الحال، النيوترون زائد الوزن، يتخلص من بيون لكي يعود بروتون عادي. بينما البروتون خفيف الوزن، يلتقط هذا البيون ويتحول إلى نيوترون عادي. لدينا الآن حالتان مختلفتان. الحالة الأولى، ممنوعة ومحرمة بكل قوانين الفيزياء. الحالة الثانية، مسموح بها وحلال بلال.

لماذ الحالة الأولى من المحرمات؟ لأن قوانين الفيزياء تقول أنه لا يمكن للجسيم أن تكون له كتلة أقل من كتلته وهو ساكن، وهي حالة البروتون الخفيف الوزن. كتلة السكون هي الكتلة التي جاءت في معادلة أينشتاين الشهيرة، والتي تساوي الكتلة بالطاقة.

هذا انتهاك فاضح لقوانين بقاء الطاقة. هنا وقع العلماء في حيص بيص. هل من الممكن أن تكون قوانين بقاء الطاقة، لا تعمل في قلب الذرة؟ هذا مستحيل. عملية خذ وهات بتاعة كرة القدم، أو تبادل الهدايا التي يلعبها النيترون مع البروتون، حيرت العلماء. وتعتبر من الغرائب بالنسبة للميكانيكا الكلاسيكية.

لكننا لا نتعامل مع الميكانيكا الكلاسيكية. هنا تظهر خاصية جديدة للجسيمات، تعتمد على الميكانيكا الكمية. وهي خاصية العمليات الافتراضية. تختص بمن طردوا من رحمة الشرائع والقوانين العقلانية الكلاسيكية.

الجسيم الافتراضي في ميكانيكا الكم، لا يمكن وصفه خلال جسيمات حقيقية. هو جسيم ينشأ خلال فترة زمنية قصيرة في مكان ما. تتصف طبيعته، من حيث الطاقة أو المكان، بمبدأ عدم اليقين لهايزنبرج. مثل المجال الكهربي والمجال المغناطيسي.

الجسيم يمكنه التحول إلى جسيم آخر بعدة طرق. من الممكن عدم معرفة طريقة التحول، لكننا يمكننا تبرير وصف التحول بأية طريقة نريدها. طالما كانت النتيجة توافق حساباتنا. اليوم، نرى العمليات الافتراضية ملائمة لتصور مفاهيمنا.

يمكننا القول بأن البيون يمر بين جسيمات النواة. لكن ليس حولها. بمعنى إشعاع بيون من جسيم، والتقاطه بآخر. عملية الإشعاع والالتقاط تتعارض مع قوانين بقاء الطاقة. ومع هذا، العملية تتم. إنها تتم افتراضيا.

بصفة عامة، العمليات الافتراضية ليست جديدة. لقد مر علينا كيف تخترق الجسيمات الدقيقة الحواجز المحتملة. من وجهة نظر الميكانيكا الكلاسيكية، ظهور الجسيم خارج الحاجز، يعني أنه قفز من فوق الأسوار أو نفذ من خلالها.

ومع هذا، معادلة شرودينجر تقول لنا أنه هناك احتمال لهروب الجسيم من البئر بدون أن نمد له يد المساعدة في صورة طاقة. أي أنه يهرب بمفرده. هذا أيضا يتعارض مع قوانين بقاء الطاقة. في الواقع، لكي يعبر أو يقفز الجسيم من فوق الحاجز، عليه أن يستمد هذه الطاقة من نفسه، ثم تختفي بعد ذلك.

لقد شرحنا حل هذا اللغز سابقا، عن طريق الخاصية الموجية للجسيمات. دعنا نذكركم بها.

بالنسبة لمبدأ هايزنبرج، كل جسيم له مقاييس غير مؤكدة لطاقة حركته وطاقة وضعه. أي محاولة لمراقبة الجسيم وهو يعبر الحاجز، تعني معرفة وضعه داخل الحاجز. هذا يغير من طاقته ويساعده على الهرب.

القوانين الكلاسيكية تقول أننا قد خالفنا القانون، لكن الميكانيكا الكمية تبين أننا لم نرتكب ذنبا وكله تمام.

لذلك، يمكننا بنفس الطريقة تفسير إشعاع وامتصاص البيون بجسيمات النواة. الفكرة هنا أننا نستطيع تطبيق مبدأ هايزنبرج على العلاقة بين الطاقة والزمن بالنسبة لجسيمات الذرة.

نحافة النيترون عندما يشع بيون سالب، أو انخفاض وزن البروتون، عندما يرسل بيون موجب، كذلك زيادة وزن الجسيمات التي امتصت البيونات، ربما ينظر لها بعين مبدأ عدم اليقين. هذا بالنسبة للطاقة والكتلة.

حسب العلماء مقدار الزمن الذي يمكن أن يحدث فيه تبادل البيون بين جسيمات النواة، فوجد أنه واحد مقسوما على واحد أمامه 23 صفرا من الثانية. إنها فترة قصيرة حقا. كيف فعلوا ذلك؟ من معادلة أينشتاين التي تساوي الكتلة بالطاقة. ومعادلة هايزنبر لحساب طول الموجة.

ما هي المسافة التي يمكن أن يقطعها البيون في هذه المدة القصيرة؟ هناك حدود لهذه المسافة. البيون يمكنه أن يسافر بسرعة أقل من سرعة الضوء. إذن مسافته لا تزيد واحد مقسوما على واحد أمامه 13 صفرا من السنتيمتر. هذا يطابق المسافة التي تعمل بها القوى النووية. شئ مذهل. لا تعارض في الميكانيكا الكمية.

لكي نراقب بيون في حالة إشعاع أو امتصاص غير قانوني، غير ممكن. لنفس السبب الذي يجعلنا نفشل في مراقبة إلكترون وهو يهرب من البئر ويعبر الحاجز. عندما نحاول مراقبة البروتون، تزيد طاقته، ويصبح تبادل البيون موافقا للميكانيكا الكلاسيكية.

من العمليات الافتراضية أيضا، الخاصية الموجية للجسيمات الدقيقة. القوى النووية تعمل في مسافات صغيرة جدا. البيون يكون مستقرا فقط عندما يقوم بواجبه داخل النواة. البيون الحر، سلوكه مختلف. عندما يترك البيون النواة، يتحلل في وقت يقدر بجزء من مئات الملايين من الثانية.

البيون الموجب، يتحول إلى ميون موجب. والبيون السالب يتحول إلى ميون سالب. أثناء التحلل، ينبعث نيوترينو.

بعد ذلك، تم اكتشاف نوع ثالث من الميزونات متعادل الشحنة. هذا النوع يتحلل بسرعة رهيبة، تقدر بألف مليون مرة قدر سرعة تحلل الميزونات المشحونة. أثناء موته، يشع 2 فوتون من أشعة جاما. طاقتها أكبر بكثير من طاقة أشعة جاما المتولدة من تصادم الإلكترون مع مضاده البوزيترون.

عدم الاستقرار هذا، هو الذي جعل البيون يختلف عن الفوتون. الفوتونات يمكنها تغيير طاقتها، ويمكنها الاختفاء كلية، بعد أن تفرغ طاقتها داخل الجسيمات. الفوتون لا يتحلل أبدا. الفوتون لا يتفتت. فهو إما فوتون صحيح وإما كلا.

من أكثر المواضيع التي تم بحثها في العلوم، المجال الكهرومغناطيسي. نعرف الكثير عن المجال الكهربي، والمجال المغناطيسي. المجال الكهربي ينتج عن شحنة كهربية ساكنة، أو شحنة كهربية متحركة. أما المجال المغناطيسي، فينتج عن شحنة كهربية متحركة فقط.

لتبسيط الموضوع، دعنا نترك المجال المغناطيسي الآن، ولننظر للمجال الكهربي. من أيام الدراسة الثانوية، نعلم أن الشحنات المتشابهة تتنافر، والمختلفة تتجاذب. الكتب المدرسية تصف هذه الظاهرة الغامضة بالآتي:

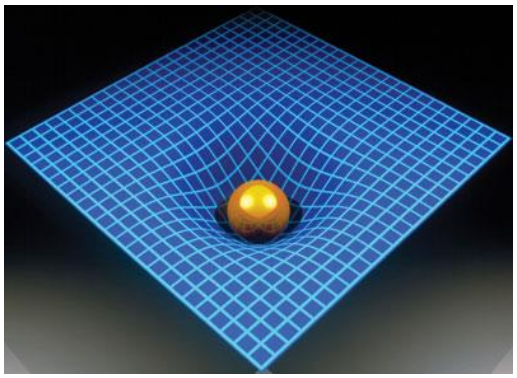
"الجسم المشحون يخلق حوله مجالا، يطرد الشحنات المتشابهة التي تأتي للمجال، ويجذب الشحنات المختلفة."

هذا الشرح للمجال الكهربي، يشبه القول المشهور: "بات طول الليل يقدح، ولما أصبح الصبح، فسر الماء بعد الجهد بالماء."

في المدرسة، تعلمنا أن كلمة "قوة"، تعني مجال. لكن كلمة مجال لم تشرح لنا. خواص المجال ذكرت لنا أيضا، مثل الشدة وخطوط القوة، إلخ. لكن الميكانيكا الكلاسيكية، لم تشرح مفهوم المجال ومعناه بالضبط. تبين أن حكاية المجال معقدة للغاية، ويبدو أنها أكبر من قدرة علماء الفيزياء حتى يومنا هذا.

لكن الميكانيكا الكمية، تقدمت كثيرا في هذا الموضوع. دعنا نرى ما قد وصلت إليه حتى الآن.

الفيزياء تعرف نوعين من الشحنات. موجبة وسالبة. البروتون، له شحنة موجبة. الإلكترون، له شحنة سالبة. البروتون والإلكترون، هما جسيمان من جسيمات الذرة، في غاية الاستقرار. دعنا نناقش الإلكترون الآن.



انحناء الفضاء لوجود كتلة به

لدينا 2 إلكترون، لكي نرى كيف يتشاجران. أولا، يجب أن يعرف كل منهما أين يوجد خصمه. أول ما يتبادر للذهن، هو أن كل منهما سوف يحني الفراغ حوله. هذا ما يقوله أينشتاين، ولا يختلف الإلكترون هنا عن الشمس. كل جسم يحني الفراغ حوله.

كل إلكترون ستكون حركته في خطوط منحنية حول الآخر. مثل الكرة التي تتحرك على مفرش سرير مشدود في وسطه كرة أخرى. انحناء

الفضاء، يرجع لوجود كتلة به، لا بسبب شحنته. لهذا، لدينا مجال مختلف. وهو مجال الجاذبية.

فكرة الجسيم يمكنه أن يتفاعل مع الفراغ، فكرة مثمرة. الشئ الذي نريد أن نفرضه، هو قدرة الإلكترون على بعث فوتونات. لقد رأينا هذا عندما يقفز الإلكترون من سحابة إلى سحابة حول النواة. أثناء هذه العملية، يغير الإلكترون من حالة طاقته.

لكن ماذا يحدث، إذا قام إلكترون حر طليق بإرسال فوتون، ثم يقوم بامتصاصه ثانية؟ حالة طاقته ستظل كما هي. هذا ممنوع بالنسبة للميكانيكا الكلاسيكية. لكن الميكانيكا الكمية تسمح بذلك. بشرط أن يكون ذلك في إطار مبدأ عدم اليقين.

السرعة التي يبعث بها الإلكترون الفوتون، ثم يعود فيمتصه، تعتمد أساسا على طاقة الفوتون. كلما زادت طاقة الفوتون، كلما زادت سرعة الإلكترون. لكن، أثناء هذا الزمن، يكون الفوتون خارج الإلكترون. ما طول المسافة التي يمكنه أن يقطعها وهو خارج الإلكترون؟ مالانهاية.

الإلكترون يمكنه أن يرسل فوتونات، وهي عبارة عن طاقة، مهما كانت ضئيلة. مثل هذه الفوتونات، يمكنها أن تنتقل إلى أبعد مسافة يمكن تصورها. بالنسبة للفوتونات التي لها تردد محدد، يكون نشاطها محكوم بطول موجاتها. وهي بالنسبة للضوء المرئي، تكون في حدود أجزاء من الميكرون.

إذا واجه الفوتون، فوتون صادر من إلكترون آخر، يحصل تصادم. النتيجة، أن يفشل بعض الفوتونات في العودة إلى الإلكترون الأب. وقد يمتص بإلكترون آخر.

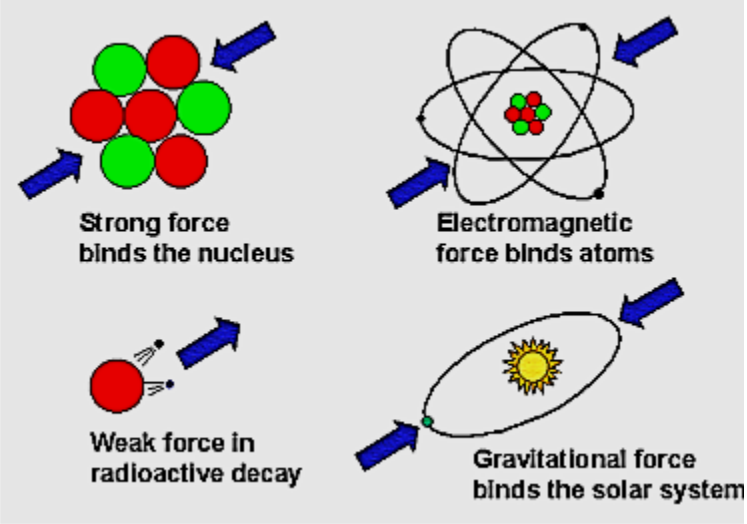
طاقة الإلكترون تظل كما كانت في بدايتها. لكن لا يوجد بداية ونهاية للتفاعل بين 2 إلكترون. هذا يعني أنه مهما بعدت المسافة، يكون هناك طريقة للتفاعل بينهما.

الباب السادس عشر

مما تتكون الذرة

هذا الكون الذي نعرفه، مدين بوجوده وبقائه لقوى طبيعية أربعة. لماذا أربعة وليس ثلاثة أو خمسة أو أي رقم آخر؟ هو كده. وهذا ما قد وجدناه. القوى الأربعة هي:

-قوة الجاذبية
-القوة الكهرومغناطيسية
-القوة القوية
-القوة الضعيفة



القوى الطبيعية الأربعة: الجاذبية، الكهرومغناطيسية، القوية، الضعيفة

قوة الجاذبية، هي التي تربطنا بالأرض وتجعل القمر يدور حولها، وتجعل كلاهما يدور حول الشمس. هي في الواقع قوة ضعيفة تعتبر أصغر القوى الأربعة. المغناطيس الصغير يستطيع أن يرفع مسمارا صغيرا من الأرض، ويتغلب على جاذبية الأرض له.

لكن قوة الجاذبية تعمل في كل المسافات القريبة والبعيدة، حتى لوكانت الأجسام في آخر الدنيا. بدون هذه القوة، لن يكون هناك نجوم أو كواكب أو مجرات. ومع هذا، فقوة الجاذبية لا تعمل بالنسبة لجسيمات الذرة ومكوناتها الدقيقة.

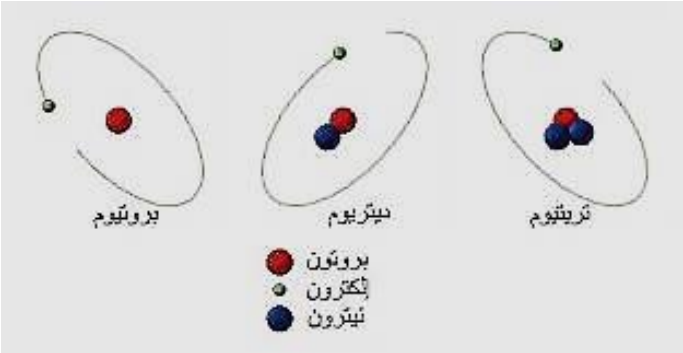
القوة الكهرومغناطيسية، هي القوة التي تتولد من امتزاج مجالي الكهرباء والمغناطيسية. تؤثر في جسيمات الذرة المشحونة، فتسبب الضوء والميكروويف والأشعة السينية وموجات الراديو والرادار وباقي الأشعة التي تسافر بسرعة الضوء.

هي أيضا التي تربط الإلكترون بالنواة لكي تتكون الذرة. تعمل ، مثل قوة الجاذبية، في كل المسافات، لكنها أكبر منها في القوة.

القوة القوية، كما يدل اسمها، هي أقوى هذه القوى الأربعة. تعمل مثل الصمغ الذي يجعل محتويات الذرة من بروتونات ونيوترونات وكوارك بداخلهما متماسكة. تعمل في مسافات قصيرة جدا تكاد تقترب من الصفر.

القوة الضعيفة، بالرغم من اسمها، فهي أكبر كثيرا من قوة الجاذبية، لكنها أصغير من القوتين الأخرتين. تسبب الإشعاع في العناصر المشعة، مثل اليورانيوم والراديوم والبولوتونيوم، وإنطلاق أشعة ألفا وبيتا وجاما. وهي المسؤولة عن إنفجار بعض النجوم. لذلك تسمى في بعض الأحيان، "محطم النجوم".

الذرة، كما أسلفنا، تتكون من نواة في المركز تدور حولها إلكترونات صغيرة جدا في الكتلة لكن مشحونة بشحنة سالبة. النواة بها جسيمات تسمى بروتونات. البروتون أكبر بكثير في الكتلة من الإلكترون، لكنه مشحونا بشحنة موجبة تعادل شحنة الإلكترون. يوجد أيضا في النواة جسيمات أخرى تسمى نيترونات لها كتلة كبيرة أيضا، لكن غير مشحونة بالكهرباء.

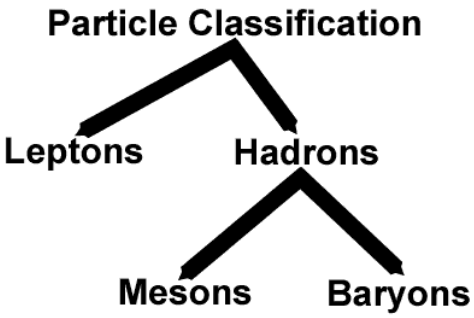


تركيبة الذرة

الآن نعرف أن الذرة مكونة من بروتون ونيترون وإلكترون، فهل ينتهي الأمر عند هذا الحد؟ وهل خطر ببالك أن هناك جسيمات أصغر تدخل في تركيبة الذرة؟ إذا وجدت، ما هي يا ترى؟

حديقة حيوانات جسيمات الذرة

لولا اكتشاف هذه الأجسيمات الأصغر، لأصبحت دراسة علوم الذرة سهلة وميسرة للجميع. فقد تبين أن النواة، توجد بداخلها حديقة حيوانات كبيرة، يبلغ عدد حيواناتها على الأقل 300 حيوان.



مع توالى إكتشافات جسيمات نواة الذرة، تم تصنيفها إلى مجموعات: أثقلها تسمى مجموعة ال"هادرون"، وأخفها تسمى مجموعة ال"ليبتون". الليبتون ليس له علاقة بمشروب الشأي المعروف. مجموعة الهادرون تنقسم بدورها إلى "باريون" و"ميزون". مجرد تصنيفات وعناوين.

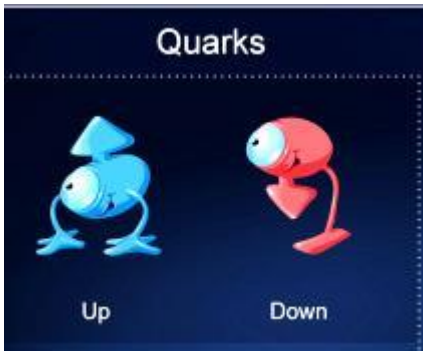
بسبب كثرة أنواع جسيمات الذرة الأولية، اعتقد العلماء أنها قد تكون مكونة من جسيمات أبسط. في عام 1960م، جاء كلا من يلمان وزويج، كل على حده، بنظرية تقول أن كل أنواع جسيمات الهيدرون الثقيلة تتكون من أجسام أبسط تسمى "كوارك".

عندما تقوم ببناء منزل، يلزمك شيئان. مواد بناء مثل الطوب والخشب والبلاط. وتحتاج أيضا إلى مواد مثل الاسمنت والجبس والصمغ، لكي تجعل المواد المختلفة تتماسك مع بعضها.

الكون أيضا يتكون من نوعين من مواد البناء. جسيمات من المادة تسمى فيرميون. وشئ يربط الجسيمات ببعضها يسمى بوزون. الفيرميون ينقسم إلى كوارك بأنواعها الستة المشار إليها. وإلى ليبتون الذي ينقسم هو أيضا إلى أنواع سته منها الإلكترون الذي نعرفه والميون والتاو.

هناك ستة أنواع من الكوارك. للتمييز بينها، نطلق عليها: (up) و(down) و(top) و(bottom) و(charm) و(strange). كل نوع منها له مضاد، وله كتلة وشحنة كهربية مختلفة ويدور حول نفسه مثل المغزل بطريقة مختلفة.

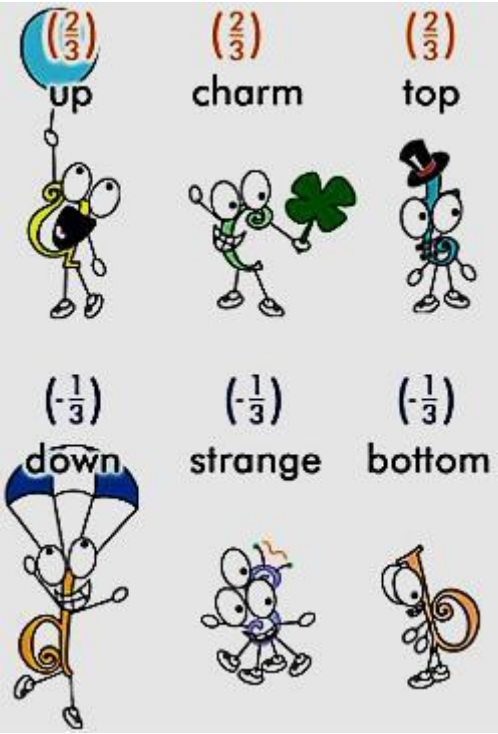
البروتون مثلا وهو مصنف على أنه من فصيلة الهادرون، يتكون من 2 كوارك (up) وواحد كوارك (down). بينما النيترون، فمكون من كوارك واحد (up) و 2 كوارك (down).



أنواع الكوارك الستة، لها نكهات مختلفة وشحنات مختلفة. يمكن تقسيمها إلى ثلاثة أزواج، كما هو مبين بالرسم.

هل تعلم كيف حصل البروتون على شحنة موجبة قدرها +1، بينما النيترون شحنته 0؟ الكوارك بداخلهما لها شحنات تعتبر أجزاء من الشحنة الكاملة. فمثلا، البروتون مكون من: 2 (up) كوارك+ 1 (down) كوارك. شحنة (up) الكوارك تساوي ثلثين شحنة، بينما شحنة (down) كوارك تساوي ثلث شحنة بالسالب. مجموع الشحنات داخل البروتون =+1

(up) و (down) كوارك هما الأكثر شيوعا واستقرارا، ويوجدان داخل البروتون والنيترون.



(up) كوارك: ثلثين شحنة الإلكترون بالموجب. الأخف من بين كل الأنواع

(down) كوارك: ثلث شحنة الإلكترون بالسالب. ثاني أخف الأنواع

(charm) كوارك: ثلثين شحنة الإلكترون بالموجب. ثالث الأنواع من حيث الكتلة

(strange) كوارك: ثلث شحنة الإلكترون بالسالب.

(top) كوارك: ثلثين شحنة الإلكترون بالموجب. الأثقل من بين كل الكوارك

(or bottom،beauty) كوارك: ثلث شحنة الإلكترون بالسالب. ترتيبه الثاني بالنسبة للثقل.

6 أنواع من الليبتون

لدينا أيضا بجانب جسيمات الكوارك الستة، جسيمات ليبتون الستة. وهي: الإلكترون، النيوترينو الإلكتروني، الميون، النيترينو الميوني، التاو، النيترينو التاوي.

muon ، muon، electron neutrino، electron
tau neutrino ، tau،neutrino

جسيمات الليبتون، هي جسيمات أولية. بمعنى أنها لا تتكون من أجزاء أصغر منها. الإلكترون كما نعرف سالب الشحنة، وكذلك الميون والتاو. بينما الثلاثة أنواع الأخرى من النيوترينو فهي متعادلة الشحنة.

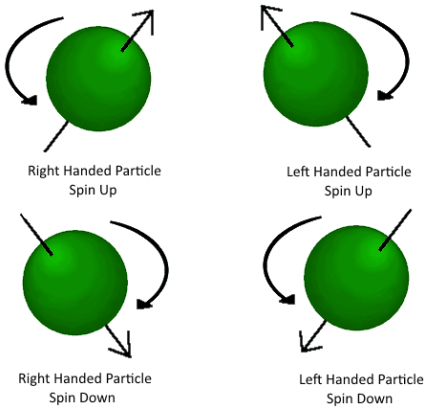
بالنسبة للكتلة، فالإلكترون هو الأخف، بينما الميون والتاو فأكبر في الكتلة من الإلكترون. أما النيوترينو بأنواعه الثلاثة، فهي جسيمات غاية في النحافةتقترب كتلتها من المفيش، ومن الصعب اكتشافها بالتجربة العملية. الليبتون جسيمات تعيش بمفردها، ولا تحتاج جسيمات ليبتون أخرى لكي ترافقها، بعكس الكوارك التي لا تستطيع العيش بدون جسيمات كوارك أخرى داخل الجسيم الأكبر.

البوزون الذي هو بمثابة الصمغ الذي يربط الجسيمات ببعضها ينقسم إلى: فوتون، وجرافيتون، وجليون، وأشياء أخرى. القوى الأربعة الطبيعية التي تتحكم في الكون، لكل منها بوزون يحملها. مجال هذه القوى يتوقف على كتلة البوزون. كلما زادت الكتلة، كلما صغر المجال الذي تؤثر فيه القوة.

الجليون الأثقل، يحمل القوة القوية في مجال صغير للغاية. Wو Z يحملان القوة الضعيفة. أما قوة الجاذبية والقوة الكهرومغناطيسية، فيحملانها 2 بوزون لا كتلة لهما.

هذا لأن مجالهما مالانهاية. الجرافيتون، يوجد نظريا فقط، ولم يثبت وجوده بالتجربة بعد. يفترض أنه نوع من البوزون لا كتلة له.

لكي يكتمل الموضوع، يجب ذكر شيئا عن اللف المغزلي. جسيمات الذرة الدقيقة، مثل الإلكترون والكوارك، كل منها له مقدار معين من اللف المغزلي. هذا المقدار ثابت لا يعتمد إلا على نوع الجسيم. اللف له مقدار واتجاه، فوق أو تحت أو يمين أو شمال، كما يتضح بالشكل.



اللف المغزلي للجسيمات

الباب السابع عشر

أينشتاين والنسبية الخاصة

كان اعتقاد العلماء أن أنوية الذرات بناء صلب. لا يتأثر بالضغط العالي أو الحرارة المرتفعة أو المجال الكهربائي أو المغناطيسي الشديدين. لكن تطور العلوم جعلهم يغيرون هذا الاعتقاد كلية.

معظم الأنوية الكبيرة، ثبت أنها غير مستقرة. حتى الأنوية الصغيرة والمتوسطة الحجم، بها ضعف في بنيانها الداخلي. تغير بسيط في عدد النيترونات بالنسبة إلى عدد البروتونات، يجعل أنويتها غير مستقرة. غير مستقرة يعني أنها مشعة.

عندما تبدأ الذرة في التحلل، تقوم بإشعاع جسيمات من نواتها إلى الخارج. منها جسيمات لم تكن موجودة أبدا في النواة. افترض العلماء أن النيترون في النواة، يمكنه التحول إلى بروتون، وبالعكس. هذا قادنا إلى اكتشاف النيوترينو.

استقرار النواة، كما يبدو، بسبب جسيمات ال "باي-ميزون". أثناء البحث عن هذه الجسيمات، اكتشف العلماء ال "ميو-ميزون". هذا أدى إلى الاعتقاد بأن هذا العالم الذي نعيش فيه والمبني من تلك الذرات، ليس بالاستقرار والقوة والصلابة التي كنا نعتقد أنه بها.

في عمق الذرة، وبين حنايا أنويتها، وجد العلماء كل أنواع الغرائب والعجائب، التي تفوق أجرأ توقعات الميكانيكا الكمية. تفحم المتشككين في الميكانيكا الكمية بحجة أن الله لا يلعب النرد.

صعق المتشككون من دقة تنبؤاتها التي تحققت بالتجارب العملية، الواحدة بعد الأخرى. خصوصا أن هذه التنبؤات لم يكن لها معنى بالمفهوم الذي تعودنا عليه. ولا تتفق مع الفطرة السليمة والعالم المحسوس للإنسان.

لو اعتمدت العلوم على الفطرة السليمة فقط، لما تقدمت خطوة واحدة إلى الأمام. علم الرياضيات على سبيل المثال، لولا اكتشافه لعالم الأعداد التخيلية، لما زاد تقدمه كثيرا عن خطوات السلحفاء.

الأعداد التخيلية، لا توجد في الطبيعة، لكنها ساهمت في تقدم كل فروع الرياضيات، ولها تطبيقات هائلة في الفيزياء والفلك ودراسة نظريات التحكم وجريان الموائع وغيرها. العدد التخيلي، هو العدد الذي مربعه مقدار سالب.

أعظم الاكتشافات تتم عندما نعطي الفطرة السليمة والعقل الواعي أجازة. جوهر الأشياء لا يقع على السطح. لكنه غائر في أعماق الوجود. الأمور العادية الواضحة المتفق عليها، خادعة.

يلزمنا شئ من الجنون والخروج عن المألوف. حتى نمخر عباب المجهول. في الطبيعة أو داخل أغوار النفس. بالعلوم، أو الأدب، الغير تقليديين.

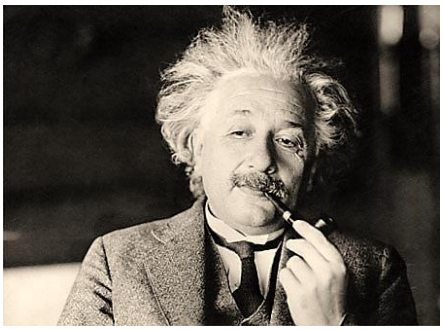
أنا عندي شعرة، ساعة تروح وساعة تيجي. من فيلم اسماعيل يس في مستشفي المجانين

دعنا نعود إلى بداية عام 1928م. نعرف الآن شيئا عن البروتون والإلكترون. عمر الميكانيكا الكمية، ثلاث سنوات فقط. كانت ناجحة في حل المعضلات التي بدأت تظهر لنا في عالم الذرة، متناهي الصغر.

نعرف الآن تركيبة ذرة الهيدروجين. نواتها بها بروتون واحد، وإلكترون واحد يدور حولها في سحابة تحتل أقل مستوى طاقة ممكن. مفهوم أنفاق النواة، جعلنا نفهم سبب إشعاع جسيمات ألفا. لازال ينقصنا الكثير لفهم طبيعة باقي جسيمات النواة.

ثم يأتي الانجليزي، بول ديراك 25 سنة. كلهم شبان زي الورد. شرودينجر، 38سنة. هايزنبرج، 28 سنة. يقول ديراك إن نجاح الميكانيكا الكمية، ربما هو نجاح عمره قصير. لأن الميكانيكا الكمية منبثقة من الميكانيكا الكلاسيكية، التي لا تصلح إلا للأجسام الكبيرة البطيئة.

لكن هل الإلكترون بطئ الحركة، عندما يدور حول النواة ملايين الملايين المرات في كل ثانية؟ بالنسبة للذرات الخفيفة، سرعته تقدر بآلاف الكيلومترات في الثانية.



أينشتاين

بالتأكيد الإلكترون ليس بطئ الحركة. هذا يعني أنه يجب أن يخضع لقوانين الميكانيكا الكمية. لكن كيف؟ قبل ذلك بحوالي 20 عاما، ظهرت نظرية تتعامل مع حركة الأجسام السريعة. هذه النظرية، هي نظرية النسبية الخاصة. مؤلفها هو الجهبذ ألبرت أينشتاين. فمن هو أينشتاين هذا، وما هي نظريته؟

منذ مئة عام تقريبا، رأي شاب صغير يعمل بالخدمة المدنية في سويسرا أن قوانين ونظريات علم الفيزياء غير سليمة بها قصور. لذلك قام بالعمل على إصلاحها. ما فعله هذا الشاب كان من الأهمية والخطورة إلى الدرجة التي جعلت مجلة عالمية مثل مجلة التايم تنتخبه رجل القرن العشرين. واعتبرته أفضل المرشحين من بين ملوك وملكات وقادة عسكريين ورؤساء جمهوريات وثوار وفنانين ونجوم سينما ومسرح وزعماء دين ومصلحين اجتماعيين وغيرهم. هذا الشاب هو البرت أينشتاين.

أصيبت والدته بخيبة أمل كبيرة عندما وقع نظرها عليه أول مرة. الرأس كبيرة معوجة، والأذنان كبيرتان مفلطحتان لا تتناسبان مع حجم الجسم. لكن عقل أينشتاين، وليس شكل رأسه، هو الذي جعله متميزا عن باقي البشر. وسنعرف لماذا.

ترك أينشتاين وصية بالتبرع بمخه بعد وفاته لأغراض البحث العلمي. عندما توفي عام 1955م، قام توماس هارفي عالم الباثولوجيا بفحص بعض خلايا مخه. لكنه لم يجد شيئا بها يتميز عن خلايا مخ البشر. لكن في عام 1999م، اكتشفت ساندرا ويتلسون، من جامعة ماكماستر بكندا، أن مخ أينشتاين ليس به تجاعيد توجد عادة في منطقة المخ الخاصة بالتخيل وتقدير المسافات وعلوم الرياضيات.

شكل مخ أينشتاين وحده ليس هو المسؤول عن عبقريته، لكن المسؤول أيضا وبدون شك، الوسط الذي نشأ فيه والقضايا العلمية التي كانت موجودة أيامه. عبقرية مثل عبقرية أينشتاين لا يمكن أن تظهر في مجتمعاتنا، لأن الوسط العلمي عندنا للأسف لا

يسمح بذلك.

لم يكن أينشتاين في طفولته الطفل المعجزة. بالعكس، تعلم النطق في سن متأخرة، وكان في سن الرابعة منطويا على نفسه، لا يميل إلى اللعب مع باقي الأطفال. مما سبب قلقا كبيرا لوالدته، فقد كانت تخشى أن يكون معاقا. وكان في صباه عادى جدا، لكنه كان مستقل التفكير، واستقلال التفكير نعمة من الله، ويا ريت كل شعوبنا تصبح مستقلة التفكير.

بسبب استقلاله في التفكير هذا، كان الكثيرون من مدرسيه يتنبأون له بالفشل في دراسته وبمستقبل مظلم. قليل جدا من أساتذته هم الذين لمسوا ذكاءه، لكن لا أحدا منهم تنبأ له بهذه المكانة العلمية الرفيعة التي وصل إليها.

عندما كان في سن الرابعة أو الخامسة، أعطاه والده، عندما كان مريضا يرقد في السرير، بوصلة مغناطيسية. حركة البوصلة واستقرارها دوما، لسبب لا يعرفه، في وضع يشير إلى جهة الشمال، ترك أثرا عميقا في نفسه لم يفارقه طيلة حياته. لماذا تشير البوصلة إلى جهة الشمال بصفة دائمة؟ إنه يريد أن يعرف. طلب المعرفة المبكر هذا تحول إلى طلب لمعرفة كيف تعمل قوانين هذا الكون.

في سن التاسعة، التحق أينشتاين بالمرحلة الثانوية، وظل بها حتى سن الخامسة عشر. حيث قام بدراسة اللغات الحديثة والجغرافيا والأدب والرياضيات. كانت أفضل المواد الدراسية عنده هي اللغة اللاتينية والرياضيات. كان يحصل فيها على أعلى الدرجات. أما اللغة اليونانية، كان يكرهها، وأداؤه فيها يغضب دائما مدرس الفصل.

عندما وصل إلى المرحلة السابعة، استدعاه مدرس اللغة اليونانية إلى مكتبه وطلب منه ترك المدرسة. أجابه أينشتاين بأنه لم يفعل شيئا مخجلا. أجاب المدرس: "مجرد وجودك داخل الفصل يفسد احترامى لباقي الطلبة".

الدكتور فرديناند روس مدرس الأدب الألماني والتاريخ القديم، كان يختلف عن باقي المدرسين. فهو لا يعتمد على التلقين والحفظ في التدريس، وكان يحفز الطلبة على التفكير، واكتشاف الحقائق بأنفسهم. لذلك كان أينشتاين يكن احتراما كبيرا للدكتور روس.

عندما كان أينشتاين مشهورا، قرر زيارة الدكتور روس، مدرسه السابق المفضل. لكن

الدكتور روس لم يتعرف على أينشتاين وظن أنه، بسبب شعره المنكوش وملابسه الرثة، متسولا جاء متخفيا يطلب حسنة. فأمر خادمه بإلقاء أينشتاين إلى الشارع.

في سن الثانية عشر، أعطاه عمه كتابا في الجبر، وقال له إن الجبر علم ممتع. "أنت تذهب لصيد الحيوانات الصغيرة ولا تعرف ما هي. لذلك نسميها س. وعندما ينتهي الصيد، نعطيها اسمها الحقيقى".

في سن الثالثة عشر، كان يقرأ لعمانويل كانط "نقد العقل المحض"، وظل مولعا بدراسة الفلسفة جل عمره إلى جانب دراسته للعلوم. قال في مذكراته، أنه كان يقرأ الكتب العلمية في صباه وكان يراها تتعارض مع قصص الكتاب المقدس. لذلك كان يشك في كل أنواع السلطات والمؤسسات الدينية، وهو شك لم يفارقه طوال حياته بالرغم من أصل ديانته اليهودية.

في عام 1894م، قرر والد أينشتاين إغلاق المصنع الذي كان يمتلكه هو وأخيه، والذهاب إلى إيطاليا لتجربة حظه هناك. كان عمر أينشتاين في ذلك الوقت 15 سنة. باقي له لإكمال دراسته الثانوية ثلاثة أعوام. لذلك قرر والده تركه في ميونخ لاستكمال دراسته الثانوية. لكنه بعد 6 شهور، أصيب باكتئاب شديد جعله يترك ميونخ ويلحق بوالديه في إيطاليا.

في إيطاليا، وعد أينشتاين والديه باستكمال دراسته بنفسه والاستعداد لامتحان القبول لمعهد البوليتكنيك الفيدرالي بمدينة زيورخ، والذي لم يكن يشطرت الحصول على شهادة إتمام الدراسة الثانوية. المطلوب فقط النجاح في امتحان القبول بالمعهد.

في سن السادسة عشر، ذهب أينشتاين لأداء امتحان القبول في زيورخ بإذن خاص، لأن سن القبول كان 18 سنة. كان عليه أن ينجح في مواد التاريخ السياسي واللغة الألمانية والفرنسية والرسم والرياضيات والهندسة الوصفية والبيولوجيا والكيمياء والطبيعة. وعليه فوق كل ذلك أن يكتب مقالة.

نجح أينشتاين في مواد الرياضيات والفيزياء، وحصل فيها على درجات عالية، لكنه رسب في باقي المواد. إلا أن مدير المعهد وجد شيئا في أينشتاين. فطلب منه أن يحصل على دبلومة الدراسة الثانوية السويسرية، وبعدها يقوم بإعادة المحاولة. البروفيسور "وبر" كان منبهرا بإجابة أينشتاين في مادتي الرياضيات والفيزياء. فطلب منه أن يقوم بمساعدته في تصحيح أوراق طلبته إذا قرر البقاء في زيوريخ.

التحق أينشتاين بمدرسة ثانوية بقرية أرو بسويسرا. قضى بها أجمل أيامه. كان مدير المدرسة رجل ليبرالي يشجع أسلوب التفكير والنقد في التدريس، بدلا من التلقين والحفظ لحقائق ومعلومات سبق اكتشافها، تؤخذ كقضايا مسلم بصحتها. هذا الجو كان يناسب طبيعة أينشتاين تماما. هناك بدأت بذور نظريته في النسبية الخاصة. حيث كان يسائل نفسه، ماذا يحدث لي لو ركبت شعاع الضوء وسرت معه بسرعته؟ هل يمكن رؤية بداية شعاع الضوء؟

في عام 1896م، أكمل أينشتاين دراسته الثانوية بتفوق عظيم. حصل على الدرجات النهائية في معظم المواد. ماعدا اللغة الفرنسية التي كادت أن تتسبب في رسوبه. لكنه نجح وتم قبوله بمعهد البوليتكنيك في زيورخ بالرغم من أن سنه كانت تقل 6 أشهر عن الحد الأدنى للقبول.

أثناء دراسة أينشتاين بمعهد البوليتكنيك، كان أينشتاين يدرس كتبا غير مقررة لمجرد أنها تشمل موضوعات يريد أن يعرفها. كان لا يهتم بمحاضرات المواد التي يكرهها. لذلك كانت مدوناته وملخصاته مليئة بالفجوات التي لا تصلح للاستذكار والاستعداد للامتحان النهائي. كان المدرسون في المعهد لا يتقيدون بكتب أو مراجع معينة. لذلك كانت محاضراتهم خارج الكتب. لكن لحسن حظ أينشتاين، كان له زميل صديق وفي، يدعى مارسيل جروسمان.

على العكس من أينشتاين، كان جروسمان يواظب على حضور وكتابة كل المحاضرات باهتمام بالغ. هذا الصديق هو الذي ساعد أينشتاين بعد التخرج في الحصول على وظيفة في مكتب تسجيل المخترعات. وهو الذي، عندما صار فيما بعد عميدا لكلية الرياضة والفيزياء، أمد أينشتاين بالمعادلات الرياضية المتقدمة اللازمة لاستكمال نظريته، نظرية النسبية العامة. مدونات جروسمان وملخصاته ساعدت أينشتاين في التخرج من معهد البوليتيكنيك عام 1898م.

بعد التخرج من معهد البوليتيكنيك عام 1900م وحصوله على درجة البكالوريوس في الفيزياء، كان أينشتاين يرغب في مواصلة حياته الأكاديمية والحصول على درجة الدكتوراة في فلسفة العلوم. لذلك قام بطلب وظيفة مساعد أستاذ للدراسات العليا في معهد البوليتيكنيك. لكن لم يقبل طلبه بسبب سلوكه قبل مدرسيه.

فقد كان دائم المعارضة والنقاش. يميل إلى إحراج مدرسيه وإثبات خطئهم ووقوعهم

في التناقض. فضلا عن أنه لم يكن يهتم بحضور العديد من المحاضرات. كان يحضر فقط المحاضرات التي تروق له. لذلك كان الوحيد بين أقرانه الخريجين الذي لم يجد عملا يتعيش منه بعد التخرج.

راسل أينشتاين كل الجامعات المعروفة في عصره يطلب عملا في قسم الطبيعة، وكان يرفق مع الطلب صورة من البحث الذي أتمه بعد تخرجه. لكن دون فائدة. أخيرا بعد 18 شهرا من البطالة، يئس من الحصول على وظيفة أكاديمية في أحد الجامعات. لكن مع مساعدة صديقه الوفي جروسمان، وجد أينشتاين أخيرا وظيفة في مكتب توثيق المخترعات في مدينة بيرن بسويسرا.

في عام 1900م، أي السنة التي تخرج فيها أينشتاين، كانت علوم الفيزياء تمر بأزمة شديدة. مع الاكتشافات الجديدة في عالم الكهرباء والمغناطيسية والذرة، بدأت النظريات الفيزيائية القديمة تتعارض مع بعضها وتفشل في تفسير الظواهر والاكتشافات الحديثة.

أحد المشاكل التي واجهت علماء الفيزياء هو ما يعرف ب "كارثة الأشعة الفوق بنفسجية". كارثة لأنها ظاهرة تناقض قوانين الحرارة المعروفة. فمثلا، لو قمنا بتسخين قضيب من الحديد. فإنه يبدأ في الاحمرار. وبزيادة درجات الحرارة بالتسخين، يبدأ القضيب في تغيير لونه إلى البرتقالي. إذا استمر التسخين، تحول لون قضيب الحديد إلى اللون الأصفر.

الأشعة الفوق بنفسجية تصبغ أجسامنا على البلاجات

إلى هنا كل شئ يتفق تماما مع قوانين الحرارة. هذا يعني أن لون المعدن له علاقة بشدة الحرارة. ويعني أيضا أننا إذا قمنا بتسخين قضيب الحديد أكثر وأكثر فإننا سوف نصل إلى اللون الأزرق ثم البنفسجي. بعد ذلك، تتولد الأشعة الفوق بنفسجية (أشعة غير مرئية ولكن تحس بها أجسامنا وتصبغها باللون الاسمر على السواحل وفي البلاجات).

لماذا لا تنطبق القوانين على قضيب الحديد بالتسخين

المعادلات والنظريات الفيزيائية تقول هذا. لكن التجارب المعملية تقول العكس. ليست هناك علاقة بين اللون الأزرق أو اللون البنفسجي أو الفوق بنفسجي، ودرجة الحرارة المنبعثة من قضيب الحديد. لماذا القوانين الفيزيائية تصدق على اللون الأحمر

والبرتقالى والأصفر، ولا تصدق على اللون الأزرق والبنفسجي؟ لا أحد يعرف في ذلك الوقت.

الجلوس الحالم في ضوء القمر

المشكلة الثانية هي طبيعة الضوء. طبعا الجلوس الحالم في ضوء القمر وسماع فيروز شئ، وبحث طبيعة الضوء شئ آخر. فقد كان معروفا منذ القدم أن الضوء عبارة عن كرات صغيرة جدا تنبعث من مصدر الضوء إلى عيوننا فتسبب حاسة الإبصار.

لكن حديثا أثبت هايجنز أن الضوء موجات. وقام ماكسويل بتأكيد ذلك بالمعادلات الرياضية. وأضاف بأن الضوء ليس موجات فقط، إنما هو موجات كهرومغناطيسية. فماذا يعني أن الضوء موجات كهرومغناطيسية؟ لتوضيح معنى هذا، لابد من شرح بعض قوانين الفيزياء.

بالنسبة للكهرباء، كلنا يعرف أن حبات السبحة إذا قمنا بحكها بقطعة صوف مثلا، فإنها تجذب قصاصة الورق الصغيرة. هذا يحدث لأن عملية الحك جعلت حبة السبحة تفقد إلكترونات. فتحاول تعويضها أو سرقتها من قصاصة الورق، لذلك تجذبها إليها.

وجد أيضا أن كل جسم مشحون مثل حبة السبحة مثلا، محاط بمجال غير مرئي يسمى

المجال الكهربي. هذا المجال إذا وضعت فيه شحنة صغيرة أخرى، فإنها تنجذب أو تتنافر مع حبة السبحة. الشحنات المتماثلة تتنافر والشحنات المختلفة تتجاذب.

بالنسبة للمغناطيس، كلنا يعرف أن المغناطيس يجذب برادة الحديد والمسامير. المغناطيس له مجال حوله على شكل أقواس خارجة من القطب الشمالي للمغناطيس، متجهة إلى القطب الجنوبي له. يمكن رؤية شكل المجال المغناطيسي بوضع ورقة فوق المغناطيس، ونثر برادة الحديد فوق الورقة. هذا المجال يسمى المجال المغناطيسى.

وجد أيضا أننا لو أخذنا مغناطيسا وجعلناه يتحرك فوق أو تحت سلك معدني، فإن السلك يمر به تيار كهربي. هذه هي فكرة الدينامو، وهكذا تتولد الكهرباء في السدود ومساقط المياة.

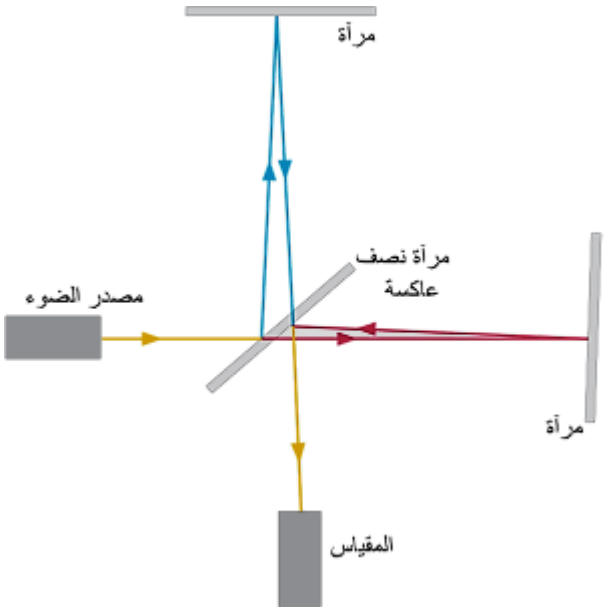
المغناطيس له مجال مغناطيسي، والسلك الذي يمر به التيار الكهربي له مجال كهربي. امتزاج المجالين يجعل كل منهما يؤثر في الآخر. مثل حكاية البيضة والفرخة. المجال المغناطيسي يولد المجال الكهربي والمجال الكهربي يولد المجال المغناطيسي وهكذا في تسلسل. وينتج عن ذلك موجات كهرومغناطيسية. منها موجات الراديو وال (FM) والميكروويف والرادار وتحت الحمراء والضوء والأشعة الفوق البنفسجية والأشعة السينية وأشعة جاما. كلها موجات كهرومغناطيسية.

الضوء موجات كما أثبت كلا من هيجنز وماكسويل. لكن الموجة تحتاج إلى وسط تنتشر فيه. فهل يمكن أن تحدث الموجات على سطح الماء بدون الماء نفسه؟ الصوت مثلا لا يمكن أن ينتشر بدون وسط مثل الهواء أو الماء. لأن الصوت لا ينتقل في الفراغ.

الموجة تحتاج إلى وسط تنتشر فيه

كيف ينتقل الضوء إلينا من النجوم والمجرات البعيدة؟ لا بد من وجود وسط بيننا وبين هذه النجوم. ومن ثم جاءت فكرة الأثير. ولا نزال نتذكر صوت المذيعات في الماضي وهن ينقلن إلينا برامجهن عبر موجات الأثير.

إذا كان الأثير موجودا في كل مكان ويملأ هذا الكون، فما هي سرعة الأرض بالنسبة للأثير؟ لكي يجيبا على هذا السؤال، قام مايكلسون ومورلي بتصميم تجربة غاية في الدقة باستخدام المرايا لمعرفة سرعة الضوء في إتجاه حركة الأرض، وسرعة الضوء في عكس اتجاه حركة الأرض. بذلك يمكن حساب سرعة الأرض بالنسبة للأثير.



تجربة مايكلسون ومورلي

لكن النتائج كانت مخيبة للآمال. لم يجد مايكلسون ومورلي أية فرق بين سرعة الضوء في اتجاه حركة الأرض وعكس اتجاه حركة الأرض. ماذا يعني هذا؟ هذا يعني أن الأرض إما أن تكون ثابته بالنسبة للأثير، أي أنها مركز الكون كما يقول رجال الدين في القرون الوسطى، أو أن الأثير غير موجود، وفي هذه الحالة كيف ينتقل إلينا الضوء من النجوم البعيدة. وهما أمران أحلاهما مر.

نحن الآن في عام 1905م وهو عام المعجزات بالنسبة لأينشتاين. عمره الآن 26 سنة. يعمل كما أسلفنا في مكتب تسجيل المخترعات الفيدرالي ببيرن. متزوج من ميليفا ماريك زميلة الدراسة منذ سنتين. وله طفل عمره سنة واحدة. أبحاثه العلمية لم تكن في الجامعة، إنما كانت، إما في المنزل أو أثناء عمله الذي كانت طبيعته توفر له الوقت الكافي للتفكير والبحث.

في شهر مارس من نفس العام، قام بنشر رسالة عن توليد وانتشار الضوء وتأثيره على

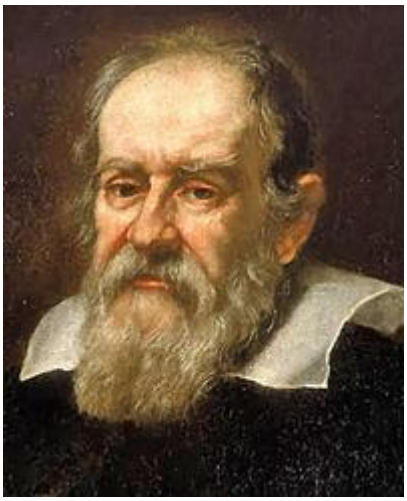
أسطح المعادن، وضعت أساسيات النظرية الكمية، وحصل بسببها على جائزة نوبل في الفيزياء بعد عدة سنوات لاحقة.

في شهر أبريل من نفس العام، نشر رسالة عن أبعاد جسيمات الذرة، وكانت هي رسالة الدكتوراة التي قبلتها جامعة زيورخ. هذه الرسالة ساعدت في إثبات وجود جسيمات الذرة. لأن ما نعرفة عن تركيب الذرة لم يكن كاملا في ذلك الوقت.

في مايو، نشر رسالة عن حركة الجزيئيات في السوائل. والتي تفسر سبب حركتها المتعرجة. في يونية، نشر رسالة عن الكهروديناميكية للأجسام المتحركة. كانت هي أول خطوة في نظرية النسبية الخاصة.

في سبتمبر من نفس العام، نشر رسالة أخرى عن نظرية النسبية الخاصة، جاءت بها معادلته الشهيرة التي تساوى بين الطاقة والمادة، ($E=mc^2$). الطاقة المتولدة من جسم، تساوى حاصل ضرب كتلته في مربع سرعة الضوء.

الرسائل الأولى والرابعة والخامسة قلبت نظريات الفيزياء رأسا على عقب.



جاليليو

على عكس ما هو معروف، أينشتاين لم يخترع النسبية الخاصة. إنما الفضل يرجع إلى جاليليو جاليلي مخترع التليسكوب. لكن أينشتاين هو الذي حول فكرة النسبية إلى نظرية هي الأكثر ثورية من أي نظرية علمية عرفتها البشرية. ولا تقل نظريته عن نظرية التطور أهمية.

يقول جاليليو أن الحركة المنتظمة والسكون لا يمكن معرفتهما بدون مرجع. بمعنى أنك لو كنت في قطار ونظرت من النافذة لتجد قطارا آخر على الشريط المقابل. فأنت لا تدري أي القطارين يتحرك. قطارك أم القطار المقابل. وعليك أن تجد وسيلة أخرى

لمعرفة أي القطارين يتحرك وأيهما الساكن، كالنظر إلى الرصيف مثلا.

جورج فيتسجيرالد من جامعة ترينيتي بإيرلندا وهنريك أنتون لورانتز من جامعة ليدن، قالا، تقريبا في نفس الوقت، أن سبب فشل تجربة تحديد سرعة الأرض بالنسبة للأثير هو أن الأطوال تنكمش مع السرعة وفي أتجاهها. كلما أسرع الجسم كلما زاد أنكماشه. وذلك حتى تظل سرعة الضوء ثابته.

قام لورانتز باستخدام مبدأ جاليليو في النسبية لكي يضع على أساسها معادلات رياضية تحسب مقدار الانكماش مع السرعة. نشر لورانتز رسالتة عام 1895م عندما كان أينشتاين يبلغ من العمر 16 عاما. استخدم أينشتاين معادلات لورانتز في نظريته للنسبية الخاصة ولكن بتفسير مختلف.

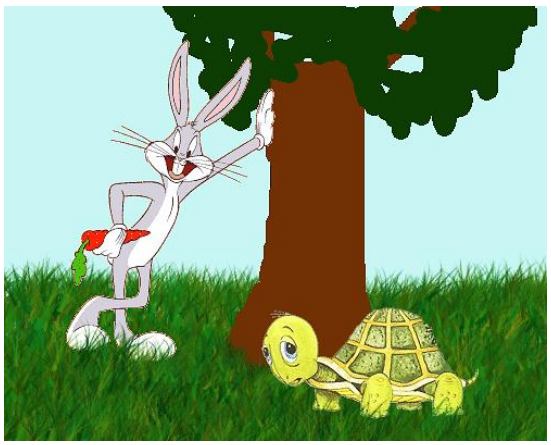
جوليس هنرى بوانكاريه في فرنسا كان له تفسيرا آخر لتجربة مايكلسون ومورلي. لذلك طلب من لورانتز أن يراجع معادلاته آخذا في الاعتبار أن الزمن نفسه يمكن أن ينكمش مثل الأطوال مع السرعة.

أي أن ساعة الحائط في القطار الذي يسير بسرعة عظيمة نجدها بطيئة بالنسبة لساعة الرصيف عندما نشاهدها بالتليسكوب مثلا. بالطبع لم يكن أحد يعتقد أن معادلات لورانتز التي تحسب انكماش الأطوال والزمن مع السرعة تنطبق على الواقع الذي نعيشه.

بوانكاريه

في عام 1904م، في مؤتمر العلوم والفنون بسانت لويس، ألقى هنري بوانكاريه، عالم الرياضيات الفرنسي، محاضرة أوضح فيها مفهومه لمعنى النسبية. قال أيضا أن القوانين الفيزيائية لا تتغير سواء كنت ساكنا أو في حركة منتظمة. فكرة بوانكارية عن النسبية هي نفس فكرة أينشتاين عن النسبية الخاصة. وظهرت قبل نظرية أينشتاين بسنة كاملة.

الغريب أن بوانكاريه، وهو العالم المحنك ذو الخبرة الواسعه، لم يأخذ الخطوة الأخيرة لكي يكتشف النظرية الصحيحة للنسبية. لأنه كان يعتقد، كما جاء في محاضرته، أنها مجرد أفكار غير واقعية وتخمينات لا تنطبق على الواقع. لكن ما هي نظرية النسبية الخاصة لأينشتاين هذه التي نتحدث عنها؟



بطء السلحفاء نضرب به المثل، لأنه منسوب لسرعة الإنسان

دعنا نبحث أولا في معنى الحركة السريعة والحركة البطيئة. هذا واضح الدلالة من مشاهداتنا العامة. حركة السلحفاء بطيئة والصاروخ سريعة، نضرب بهما المثل. هي مقاييس ذاتية منسوبة إلى سرعة مشى وجري الإنسان. بالنسبة لبروتاجوراس، الفيلسوف اليوناني القديم، كل شئ نسبي، يخضع لحكم الشخص وتقديره. بذلك يكون هو أول من فكر في قوانين النسبية. يدعي البعض أنه قد ألهم البرت أينشتين بفكرة النسبية. فلا يوجد جديد تحت الشمس.

لكن، راقب برهة القطار السريع وهو في الأفق البعيد. ولاحظ كيف يتحرك ببطء. أو السفينة في عرض البحر، أو الطائرة في عنان السماء. هي أيضا تسير ببطء. حكاية السريع والبطئ، مفاهيم نسبية تقديرية.

هذه المفاهيم الغير دقيقة لا تقنع علماء الفيزياء. إنهم يبحثون عن سرعة ثابتة، ليس لها ارتباط بالحالة المزاجية للإنسان، يمكن أن يقارنوا بها باقي السرعات.

نأخذ سرعة الكرة الأرضية في مدارها حول الشمس؟ اختيار يعني! ممكن أن يكون معقولا. لكن مادمنا قد بدأنا في اختراق السماء بتليسكوباتنا وصواريخنا، يكون من الأفضل إيجاد سرعة أخرى، ليس لها ارتباط بالأرض أو الشمس أو أي جرم سماوي. شئ كده، يمكن أن يستخدم في أي مكان وأي زمان في هذا الكون.

من أين نأتي بهذه السرعة الثابتة، التي لا تتغير في أي مكان في هذا الكون، والتي يمكن أن نقيس بها باقي السرعات؟ هل نحن نبحث عن المستحيل؟ لا أبدا.

يشاء القدر بكرمه الفائق أن يهبنا ما نبحث عنه. سرعة انتشار الموجات الهرومغناطيسية في الفراغ. الفراغ هنا لا يعني الفضاء. الفراغ بمعنى أنبوبة مفرغة. وهي سرعة فوتونات الضوء.

أخذ أينشتاين مفهوم النسبية لجاليليو، الذي ينطبق على القوانين الميكانيكية القديمة فقط، وطبقه على جميع قوانين الفيزياء. كان عماده في هذا هو أن القوانين الفيزيائية واحدة بالنسبة لأي مشاهد بغض النظر عن كونه ساكنا أو متحركا بسرعة منتظمة. افترض أينشتاين أيضا أن سرعة الضوء ثابتة لا تتغير.

بمعنى أنك لا تستطيع أن تزيد من سرعة الضوء إذا حملت المصباح وجريت به حتى وإن اقتربت سرعتك من سرعة الضوء نفسه. لأن سرعة الضوء، مهما فعلت، لا يمكن أن تزيد أو تنقص عن 300 ألف كيلومتر في الثانية. وهي سرعة تجعلك تدور حول الكرة الأرضية 7 مرات في الثانية الواحدة.

إذا كنت واقفنا على رصيف المحطة وجاء قطار بضائع طوله كيلومتر واحد مثلا. فلن تلاحظ أي فرق في طول القطار، عندما يكون واقفا وعندما يسير بسرعته المعتادة، مع فرض أن كانت معك أجهزة تقيس الأطوال من بعد. ذلك لأن سرعة القطار المعتادة صغيرة جدا بالنسبة لسرعة الضوء.

من ثم يكون الانكماش في طول القطار غير محسوس. أما إذا كان القطار يسير بسرعة تعادل نصف سرعة الضوء، فإنك سوف تجد طول القطار قد انكمش بمقدار 13%. أي أن طوله أصبح 870 متر فقط. هذا ليس خداع بصر. انكماش الأطوال هنا حقيقي.

عندما تقترب سرعة الجسم من سرعة الضوء، تبدأ خواص الجسم في تغير كبير على غير المتوقع. أحد هذه الخواص، هو زيادة كتلة الجسم وهو يقترب من سرعة الضوء.

فوتونات الضوء

كأن الجسم يقاوم القوة التي تزيد من سرعته. نحتاج إلى قوة أكبر وأكبر لكي نجعل الجسم يبلغ سرعة الضوء. هذه القوة غير موجودة.

نظرية النسبية الخاصة تقول لنا، لا توجد مادة تستطيع السير بسرعة الضوء في هذا الكون. مادة تعني أي تجمع لذرات أو جزيئات في حالة سكون. أي أن الجسم ساكن لا يتحرك نسبيا.

الفوتونات، هي كوانتا الضوء أو فتافيت الضوء، الذي يحمل كل منها مقدار طاقة يعادل ثابت لابلانك مضروبا في تردده. الفوتونات لا يمكنها أن تكون في حالة سكون. لهذا نظرية النسبية لا تنطبق عليها.

بلغة الرياضيات، هذه الفكرة يمكن التعبير عنها بالمعادلة البسيطة الآتية.

كتلة الجسم الذي يسير بسرعة = كتلة الجسم وهو ساكن ÷ مقدار.

هذا المقدار = الجزر التربيعي (1- مربع نسبة سرعة الجسم إلى سرعة الضوء)

من هذه المعادلة، عندما تقترب سرعة الجسم من سرعة الضوء، سيقترب المقدار المقسوم عليه في المعادلة من الصفر. فتظل الكتلة تزداد بالتدريج، وعندما يبلغ الجسم سرعة الضوء، يصبح المقدار يساوي صفر. وتصبح الكتلة مالانهاية. لأن أي مقدار مقسوما على صفر = مالانهاية.

لقد ذكرنا أن هذه المعادلة لا تنطبق على فوتونات الضوء نفسها. الفوتونات لا يمكنها أن تكون في حالة سكون. إذا استخدمنا المعادلة في حالة الفوتون، سنحصل على مقدار (صفر مقسوما على صفر). وهو من وجهة نظر علم الرياضيات، كلام فارغ، يمكن أن يأخذ أية قيمة. هذا يعني شئ واحد، وهو أن الفوتون يوجد فقط عندما تساوي سرعته سرعة الضوء الثابته، 300 ألف كيلومتر في الثانية.

هذه سرعة، لا يمكن أن تبلغها أي مادة أو جسيم في هذا الكون. في نفس الوقت، لا يمكن لفوتون أن يأخذ سرعة غير سرعة الضوء. هذا يعني أن سرعة الضوء، هي الحاجز الذي لا يمكن اختراقه والذي يفصل بين عالم الجسيمات وعالم الفوتونات. بين عالم الجسد وعالم النور.

كتلة الصاروخ تتزايد مع زيادة السرعة

لماذا لم نلاحظ زيادة كتلة الأجسام في الحياة العامة؟ دعنا نحسب الحسبة بالنسبة لصاروخ ينطلق بسرعة 11 كليلومتر في الثانية. فما الزيادة في كتلته وهو منطلق بهذه السرعة، عن كتلته وهو مرابض في قاعدة الانطلاق ينتظر العد التنازلي؟

إذا كانت كتلته وهو ساكن 100 كيلوجرام، فالزيادة تبلغ 0.35 ميلليجرام. بالطبع مقدار صغير لايمكن ملاحظته. لكن إذا زادت سرعته إلى 250 ألف كيلومتر في الثانية، فستبلغ كتلته أزيد من ضعف كتلته وهو ساكن على الأرض. هذا ما يحدث بالنسبة لجسيمات الذرة، عندما تزداد سرعاتها في المعجلات الذرية.

كتلة الطائر تزيد بسبب سرعته

التغير في كتلة الطائر بسبب الطيران صغير جدا من الصعب قياسه. لكن إذا طار الطائر وظلت سرعته تزداد حتى تصل إلى سرعة الضوء، فإن كتلته تظل تزداد إلى أن تصبح لا نهائية. هذا يعني أنه من المستحيل أن نسافر بسرعة الضوء في يوم من الأيام. إنس الحكاية دي.

الأجسام عندما تتجاذب، تفقد جزءا من الطاقة في عملية الجذب. بذلك تكون أقل كتلة عما إذا كانت متفرقة. هذه الأمور مهمة جدا إذا كنا نقوم بدراسة قلب الذرة التي تحتوي على جسيمات في حالة جذب شديد لبعضها. وعدم معرفتنا لنظرية النسبية الخاصة يجعل كل حساباتنا خاطئة.

التغير في السرعة، يحمل في جعبته مفاجأة أخرى لنا. وياما في الجراب يا حاوي. عرفنا أن زيادة السرعة تجعل الكتلة تزداد. تناسب طردي. المفاجأة هي أن الزمن نفسه يقل، بمعنى أنه يمر مع السرعة ببطء، إذا قورن بزمن الجسم الساكن. تناسب عكسي مع السرعة.

أجسادنا بها ساعة بيولوجية. تدق مع إيقاع النشاط الحيوي للبدن. بمعنى أننا نستيقظ، نذهب للعمل، ونذهب للنوم وفقا للزمن المعتاد. هذا الزمن له علاقة بتتابع الليل والنهار بسبب دوران الأرض حول محورها.

لكن ما هي سرعة مرور الزمن الذي نتحدث عنه؟ إذا كنت في مجلس أنس، تتبادل الهمسات واللمسات والتنهدات والحديث الناعم الهايف مع حبيبة القلب، ستشعر بأن هذه اللحظات الأبدية النادرة، تمر كلمح البصر. أما إذا كنت في عيادة طبيب الأسنان تقوم بخلع ضرس أو إصلاح ما اعوج منها، فالزمن هنا يتوقف والساعة الزمنية تمر كأنها دهر.

الزمن يمر بسرعة في الأوقات السعيدة

الزمن يمر ببطء عند طبيب الأسنان

شئ مثل هذا تقوله نظرية النسبية الخاصة بالنسبة للزمن. لكن بعد استبدال حالتك النفسية، بحالة الجسم من حيث السكون أو السرعة. النظرية تقول أنه كلما زادت سرعة الجسم، كلما تباطأ مرور زمن الجسم، بالنسبة للمراقب الساكن.

لو افترضنا جدلا أننا نركب صاروخا تقترب سرعته من سرعة الضوء. قمنا برحلة في الفضاء الخارجي استغرقت 10 سنوات بزمن الصاروخ. عند العودة، سنجد أفراد العائلة والأصدقاء والمعارف، قد هرموا جدا. لقد هرمنا بتاعة ثورة الياسمين التونسية. لأنهم عاشوا عشرات السنين بالزمن الأرضي. هذا تغير في الزمن حقيقي، وليس له علاقة بحالتك النفسية.

معادلة النسبية التي تقيس الزمن، شبيهة بمعادلة التغير في كتلة الجسم المسرع. الفرق هنا هو أن الزمن يقل، أي يبطئ، والكتلة هناك تزيد بزيادة السرعة. في معادلة الزمن، سنقوم بالضرب في المقدار، بدلا من القسمة عليه.

زمن الجسم المسرع = زمن الجسم الساكن X مقدار.

هذا المقدار = الجزر التربيعي (1- مربع نسبة سرعة الجسم إلى سرعة الضوء)

من قال أن نظرية النسبية صعبة الفهم. معادلاتها يستطيع فهمها طلبة الإعدادية.

من المعادلة السابقة، الفوتون الذي يسير بسرعة الضوء، سيكون زمنه النسبي يساوي صفر. لأن المقدار في المعادلة السابقة يساوي صفر. وهذا يعني أن الزمن سيتوقف.

أعتقد أن الحياة الأبدية سوف يتوقف فيها الزمن أيضا. أي نصبح كلنا أجساما من نور. أنا بهزر معاكم، اللهم اجعل كلامنا خفيف على مشايخنا الكرام. لو ربطنا ساعة على معصم الفوتون، فلن تتحرك عقاربها أبدا. الزمن هنا لن يمر على الإطلاق. التروس عصلجت خلاص.

هل هناك دليل على أن هذا الكلام صحيح. نعم توجد أدلة كثيرة على صحة نظرية النسبية الخاصة لأينشتاين. فمثلا، جسيمات من المادة تسمى ميونات (جمع ميون) تتكون بفعل الأشعة الكونية في الغلاف الجوي على بعد 6 آلاف متر من سطح الأرض.

عمر الميون الواحد قصير جدا 2.2 ميكروثانية عندما نقيسه وهو يهبط بسرعة. هذه الميونات تهبط على الأرض بسرعة تعادل 99.8% من سرعة الضوء. عندما يصل الميون إلى سطح الأرض، نجد أن عمره 34.8 ميكروثانية. كيف حدث ذلك؟ لأن عمره

وهويسير مقتربا من سرعة الضوء ينكمش بالنسبة لنا، إلى 2.2 ميكروثانية.

آخر رسالة نشرها أينشتاين عام 1905م، كانت عن مساوات الطاقة بالكتلة في معادلته الشهيرة (E=mc2). الطاقة هي القدرة على عمل معين. والكتلة هو مقاومة الجسم للحركة الغير منتظمة. الكتلة تختلف عن الوزن. الوزن مرتبط بجاذبية الأرض. الوزن = حاصل ضرب الكتلة في عجلة الجاذبية. لكن الكتلة واحدة في أي مكان، على الأرض أو على سطح القمر.

كان أينشتاين يعلم أن المواد المشعة مثل اليورانيوم تفقد طاقة بسبب الإشعاع. فقام باستخدام معادلات نظرية النسبية الخاصة لحساب الفرق في الطاقة بين الذرات المشعة في حالة السكون وفي حالة الحركة بسرعة منتظمة. حساباته بينت له أن كتلة الذرة تقل بسبب الإشعاع.

قام أينشتاين بتعميم هذه الفكرة، وقال إن هذه الظاهرة تنطبق على جميع الذرات. كتلة الجسم أصبحت الآن تقيس ما يحتويه الجسم من طاقة. الكتلة هي طاقة، والطاقة هي كتلة. ومن هنا جاءت معادلته الشهيرة (E=mc2). الثلج هو ماء، والماء هو ثلج.

الثلج ماء، والماء ثلج

لدينا أيضا معادلة بسيطة جميلة تصلح لطلبة الإعدادية، لكنها أخطر معادلة عرفها الإنسان.
تسببت في اختراع القنبلة الذرية وفي توليد الكهرباء من المفاعلات النووية. هذه هي معادلة أينشتاين الشهيرة التي تساوي الطاقة بالكتلة.

الطاقة = الكتلة X مربع سرعة الضوء

هل هناك أبسط وأجمل من هذه المعادلة؟ منتهي البراءة. تستحق أن يقام لها الموالد، التي تقرع فيها الطبول، وتدق لها الصنج والشخاليل. هذه هي المعادلة التي يجب أن تعلق في الصالونات، وتزار في المتاحف، وينصب لها التماثيل في الحدائق والميادين العامة.

معادلة أينشتاين يجب أن تقام لها الموالد

كتلة الجسم أصبحت الآن تقيس ما يحتويه الجسم من طاقة. الكتلة هي طاقة، والطاقة هي كتلة. ومن هنا جاءت معادلته الشهيرة. الكون كله عبارة عن طاقة أو روح سرمدية. الكتل والأجسام التي نراها هي كلاكيع طاقة متجمدة. لا أكثر ولا أقل.

لكن، أي نوع من الطاقة هذه التي جاءت في معادلة أينشتاين؟ لكي نميزها عن طاقة الحركة (الطاقة المتولدة من حركة الجسم)، وطاقة الوضع (الطاقة المتولدة من ارتفاع الجسم عن سطح الأرض). لذلك نسمي هذه الطاقة "طاقة السكون". أي طاقة الجسم الساكن .

من ثم، هي طاقة مخزونة في الجسم، لا تعتمد على سرعته أو ارتفاعه عن سطح الأرض. الميكانيكا الكلاسيكية، تعرف فقط نوعين من الطاقة للجسم. هذه الطاقة الجديدة، لا تعرفها الميكانيكا الكلاسيكية. شئ خاص جدا.

لكن لماذا مربع سرعة الضوء؟ مربع سرعة الضوء مجرد عامل تحويل الكتلة إلى طاقة. مثل تحويل الدولارات إلى جنيهات مصرية، يستلزم الضرب في سعر التحويل الحالي.

الأجسام عندما تتجاذب، تفقد جزءا من الطاقة في عملية الجذب، بذلك تكون أقل كتلة عما إذا كانت متفرقة. هذه الأمور مهمة جدا إذا كنا نقوم بدراسة قلب الذرة التي تحتوي على جزيئيات في حالة جذب شديد لبعضها. عدم معرفتنا لنظرية النسبية الخاصة يجعل كل حساباتنا خاطئة.

معادلة شرودينجر، كانت مفتاح الميكانيكا الكمية لفك طلاسم الطبيعة وأسرارها. لكن كانت هناك بعض الحالات التي استعصت على المعادلة، أوجبت البحث عن طريقة لتطويرها.

نعود إلى العزيز بول ديراك، فقد طال انتظاره في الصالون. يخبرنا ديراك أن الطريقة المثلى لتطبيق ميكانيكا الكم على جسيمات الذرة السريعة، هي باستخدام نظرية النسبية لأينشتاين.

منذ البداية، تبين أن ربط نظرية النسبية بالميكانيكا الكمية ليس بالأمر الهين. أول شئ فكر فيه ديراك، هو أن يكون التعديل بحيث يعطينا حلولا ثابتة من وجهة نظر نظرية النسبية.

ثبوت النسبية (Relativistic invariant) تعبير مرعب. يجعلك تترك الموضوع قبل قراءته. في الواقع، هو أيضا تعبير مرعب بالنسبة لعلماء الفيزياء أيضا. أي نظرية كان عنوانها ثبوت النسبية، كانت تلقى في سلة المهملات.

هل حاولت لعب الكرة في القطار أو على سطح المركب؟ هل هناك صعوبة في قذف الكرة في عكس اتجاه المركب؟ وهل تختلف عن قذف الكرة على الأرض؟ الإجابة، ليس هناك فرق. هناك شرط واحد، هو أن يكون القطار أو المركب سائرا بسرعة منتظمة. النسبية الخاصة لأينشتاين، لا تتعامل إلا مع السرعات المنتظمة.

ليس هناك أي فرق في اللعب على ظهر مركب ساكن، أو سائر بسرعة منتظمة. كل حركة الأجسام في سفينة الفضاء، التي تسير بسرعة تقترب من سرعة الضوء، لن تختلف عن حركتها على سطح الأرض، بفرض أن قوى الجاذبية واحدة.

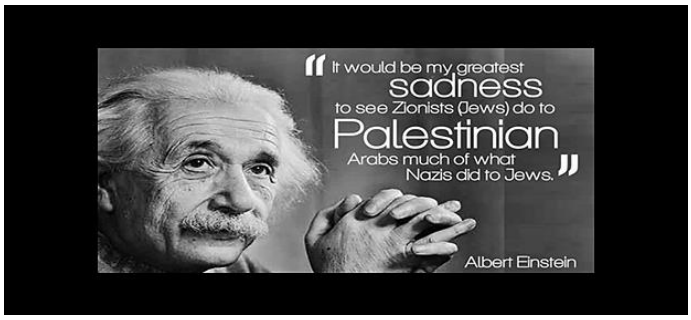
بما أن حركة الأجسام (الكرة)، لا تعتمد على سرعة المرجع (الصاروخ أو الأرض)، لذلك القوانين التي تتحكم في الكرة هي نفسها. أي لا تتغير في الصاروخ أو على الأرض. هذه القوانين التي تنطبق على الكرة، هي قوانين "ثابتة النسبية".

إذا قالت لنا معادلة جديدة، بالنسبة لصاروخ تقترب سرعته من سرعة الضوء، أن الكرة يجب أن تسير داخل الصاروخ في منحنى. ووجدناها تسير في خط مستقيم، هذا يعني أن المعادلة خاطئة يجب تصحيحها أو التخلص منها بأسرع ما يمكن. هذا ما وجده ديراك، عندما حاول تعديل معادلة شرودينجر.

لذلك، قام ديراك بمزج أخطر نظريتين عرفهما القرن العشرين، نظرية الكم ونظرية النسبية الخاصة. هذه السبيكة الجديدة، المفروض أنها تقوي نظرية الكم في مواجهة التحديات الجديدة التي بدأت تظهر مع اقتحام عالم الذرة والغوص في أعماق نواتها.

في عام 1906م، بدأت شهرة أينشتاين تملأ الآفاق. البروفيسور العظيم ماكس بلانك أبو الميكانيكا الكمية بدأ يراسله ويناقشه في نظريته وأبحاثه. الرسائل تنهال عليه تطلب العمل معه. مما شجعه على البحث عن وظيفة أكاديمية. في عام 1909م، ترك وظيفته بمكتب توثيق المخترعات، وذهب للعمل كبروفيسور للفيزياء النظرية في جامعة زيورخ بمرتب قدره 4500 فرانك.

في بداية حياته الأكاديمية، لم يكن يجيد التدريس. وكان يذهب إلى المدرج يرتدي سروالا قصيرا ويحمل قصاصة ورق بها موضوع المحاضرة. لكن مع الوقت، تحسن أسلوبه في التدريس. وبدأت الطلبة تحبه وتتعلق به.



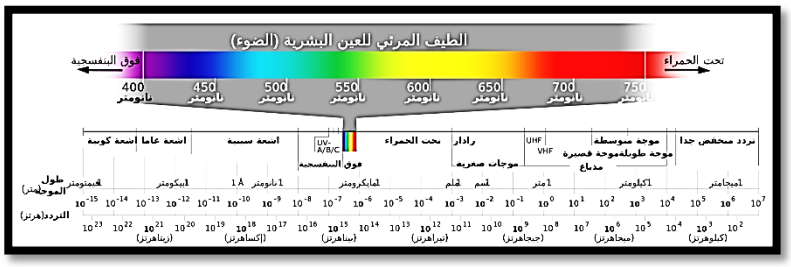
من دواعي حزني العميق أن أرى الصهيونية تفعل بالفلسطينيين العرب ما كان يفعله النازي باليهود، ألبرت أينشتاين

لقد كان بسيطا غير ملتزم بالشكليات والبروتوكول. إنسان بمعنى الكلمة. غير متعصب دينيا أو عرقيا، ومعارضا شرسا لقيام دولة إسرائيل. في يوم من الأيام، أرسلت له دعوة لحضور حفل تتويج بجامعة ميونخ، وهو لا يعلم أن الجامعة سوف تنعم عليه بدرجة الدكتوراه الفخرية. فذهب إلى الحفل بملابسه الرثة وسرواله القصير وقبعته القش لكي يتسلم درجة الدكتوراة الفخرية.

ظل أينشتاين يدرّس بجامعة زيورخ من عام 1909م إلى 1911م. خلال هذه الفترة، نشر 11 بحثا في الفيزياء النظرية. معظمها أبحاث تتعلق بمسائل الإشعاع وعلاقته بالضوء. أثناء هذه الأبحاث ومنذ البدايه، كان أينشتاين دائم التفكير في تعميم نظريته في النسبية الخاصة بحيث تشمل الحركة الغير منتظمة والجاذبية. هذا عمل شاق مضني جبار. استعرق منه الجهد والعرق، لكنه توج بنظرية النسبية العامة الرائعة عام 1917م.

الباب الثامن عشر

نظرية النسبية العامة لأينشتاين



تردد موجات الضوء تعطينا الألوان

أهم ما جاء بنظرية النسبية الخاصة لأينشتاين، هو أن سرعة الضوء ثابتة لا تتغير. فهي تنطلق من المصباح أو تأتى إلينا من النجوم البعيدة بنفس السرعة. الذي يتغير في الضوء هو طول الموجة والتردد. هذا يعطينا الألوان. مثل الترددات المختلفة في الموسيقى، تعطينا أنغاما مختلفة.

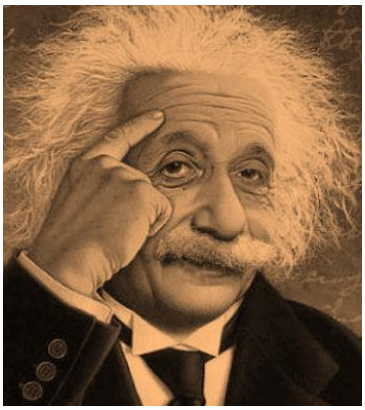
جاء بنظرية النسبية الخاصة لأينشتاين أيضا، أن الأطوال والزمن نسبي. بمعنى أن السير بسرعة تجعل الجسم ينكمش في اتجاه الحركة، إذا قيس من بعيد. وتجعل الزمن يبطئ هو الآخر. أي أن ساعة الحائط التي تسير بسرعة إذا شاهدناها من بعيد نجدها دائما تشير إلى زمن بطيء. (الساعة تؤخر وتحتاج إلى ضبط).

شئ آخر هام جاء بنظرية النسبية الخاصة، هو مساواة الكتلة بالطاقة. الطاقة تساوي حاصل ضرب الكتلة في مربع سرعة الضوء ($E=mc^2$). هذا يعني أن الضوء له طاقة وكتلة، وبالتالي له وزن. وأن الطيور وهي تطير لها كتلة أكبر منها لو كانت واقفة على الشجر. لأن سرعة الطائر تجعله يكتسب طاقة، والطاقة لها كتلة تزيد من كتلة الطائر.

في عام 1907م بعد سنتين من نشر نظرية النسبية، كان أينشتاين لا يزال يعمل في مكتب تسجيل المخترعات ببيرن بسويسرا. لكنه بدأ يشعر أن نظريته محدودة ينقصها شئ هام.

نظرية النسبية الخاصة تتكلم عن السرعات المنتظمة فقط. (سرعة منتظمة يعني أنها لا تزيد أو تنقص). ولا تشمل السرعات المتزايدة أو المتناقصة باطراد، أي التي تتحرك بعجلة تزايدية أو عجلة تناقصية. لذلك بدأ أينشتاين التفكير في نظرية جديدة تكون أعم وأشمل تأخذ في الاعتبار التغير في السرعات والحركة بعجلة. لكن كيف؟

في محاضرة عام 1922م، أخبر أينشتاين مستمعيه أنه بينما كان يجلس في مكتب تسجيل المخترعات ببيرن، جاءه خاطر مباغت. لو سقط إنسان من إرتفاع شاهق، فإنه أثناء السقوط لن يشعر بوزنه. بالتالي لن يشعر بجذب الأرض له.



كانت هذه اللحظة هي أسعد اللحظات

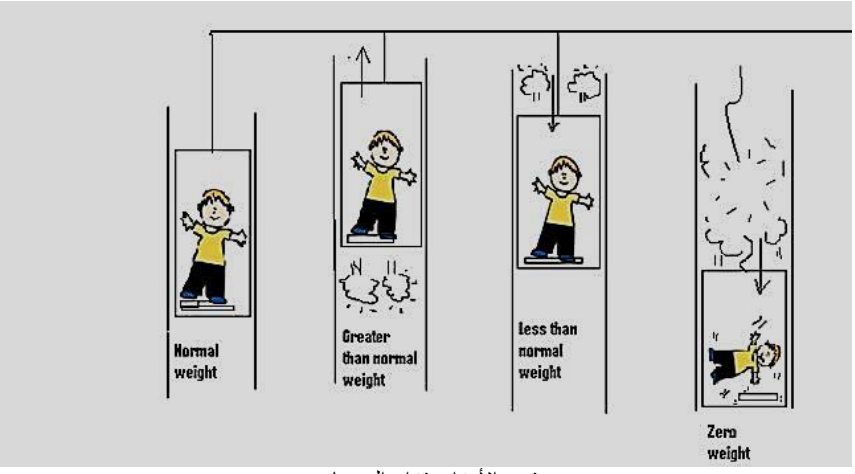
كانت هذه اللحظة هي أسعد اللحظات التي مر بها أينشتاين في حياته. لأن هذه الفكرة أعطته بداية الخيط الذي أوصله إلى نظرية النسبية العامة، التي تعتبر أهم وأخطر نظرية عرفها الإنسان حتى الآن.

نفترض أننا في مصعد يستقر على سطح الأرض. إذا سقطت كرة من إرتفاع داخل المصعد فإن الكرة تسقط إلى أسفل وترتضم بأرض المصعد. لماذا؟ الجاذبية الأرضية بالطبع.

إذا افترضنا أن المصعد مزود بمحرك نفاث جعله ينطلق إلى أعلى حتى يصل إلى منطقة بعيدة عن الكواكب والنجوم. في هذه الحالة، إذا سقطت نفس الكرة من نفس الارتفاع وكان المصعد يسير بعجلة أي تزيد سرعته باطراد في اتجاه السقف، فإن الكرة سوف تسقط أيضا إلى أرض المصد.

في الواقع الكرة لم تسقط وإنما ظلت في مكانها. أرض المصعد هي التي صعدت إليها. لكن يبدو لنا من الداخل، أن الكرة هي التي سقطت إلى أرض المصعد ما دامت سرعة المصعد تتزايد.

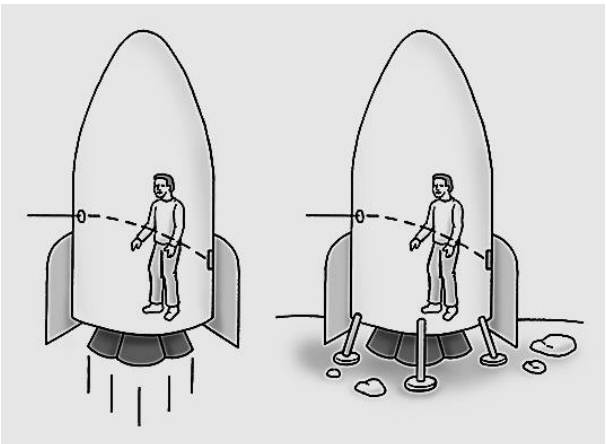
سوف نجد أيضا أن أرض المصعد تضغط على أقدامنا فنشعر بأوزاننا، كأننا نقف على الأرض تماما. هذا لا يحدث مع السرعة المنتظمة. لأن السرعة المنتظمة تجعل الكرة وتجعلنا نحن أيضا داخل المصعد نسبح في الهواء بدون أوزان.



تغير الأوزان بتزايد السرعات

هل هناك فرق بين الحالتين؟ أي بين جاذبية الأرض، وحركة المصعد بعجلة؟ لا فرق. الجاذبية هي مجرد الحركة بعجلة، أي بسرعة متزايدة. قام أينشتاين بتسمية هذه الفكرة " مبدأ التكافؤ".

نحن الآن في الصاروخ الذي يتحرك بعجلة. في الجدار يوجد ثقب صغير يسمح بشعاع من الضوء يأتى من الخارج، وليكن من نجم بعيد مثلا. بينما الضوء يسير داخل الصاروخ لكي يقع على الجدار المقابل، يكون الجدار قد تحرك قليلا مع الصاروخ إلى أعلى نسبيا. بذلك يقع الضوء في هذه الحالة



انحناء الضوء بسبب حركة الصاروخ

أسفل المكان المقابل للفتحة. نحن داخل الصاروخ، نرى الضوء قد انحنى إلى أسفل. فنقول بأن الضوء ينحني بتأثير الجاذبية. هذا ما يقوله أينشتاين، الجاذبية تحني شعاع الضوء.

اكتشف أينشتاين مبدأ التكافؤ هذا، أي تكافؤ الجاذبية مع الحركة بعجلة، عام 1907م، وقام بنشر هذا المبدأ في نفس العام. ظل هذا الاكتشاف الهام في طي النسيان حتى عام 1911م. خلال هذه المدة، كان أينشتاين مشغولا ببحوث خاصة في الفيزياء الكمية.

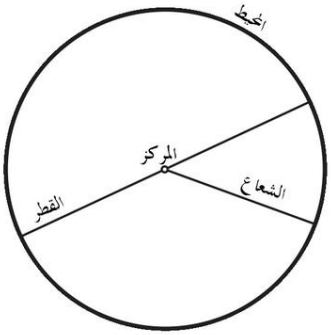
لكنه عندما عاد لاستكمال أبحاثه عن النسبية والجاذبية، أصبح "مبدأ التكافؤ" مسألة هاجس واستحواذ، امتلكت عقله ولبه، ولم يعد يفكر إلا في هذه المسألة. أخذت منه أربع سنوات كاملة لكي يكمل الفكرة ويتم نظريته الجديدة، نظرية النسبية العامة عام 1915م، والمعدلة عام 1916م.

في عام 1911م، كانت أشهر الجامعات تتمنى أن تتعاقد مع أينشتاين لكي يعمل بها. جاءته عروض من روسمان، زميل الدراسة، لكي يعمل في معهد البوليتيكنيك، ومن هندريك لورانتز من جامعة أوتريتشت، ومن جامعة ليدن وجامعة فيينا وكولومبيا.

لكن قلب أينشتاين كان مع معهد البوليتيكنيك الذي تخرج منه. بعد أن جاءته تزكية من العالم الفرنسي الكبير بوانكاريه، وكذلك من عالمة الذرة ماري كوري، قامت الحكومة السويسرية بالتعاقد مع أينشتاين لكي يعمل بالبوليتيكنيك لمدة عشر سنوات.

عندما عاد أينشتاين للعمل في البوليتيكنيك عام 1912م، تيقن أن هندسة إقليدس والرياضيات القديمة لا تصلح لاستكمال أبحاثه في نظرية النسبية العامة الجديدة. لماذا لا تصلح هندسة إقليدس لمثل هذه الأبحاث؟

إقليدس



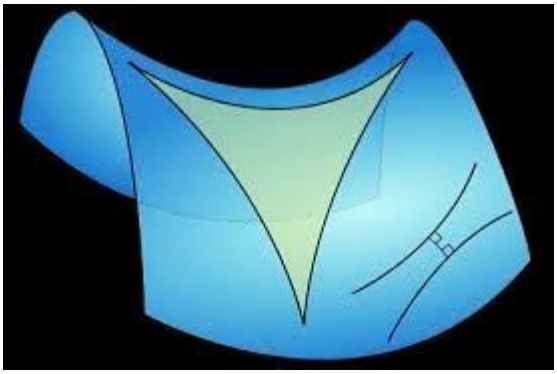
الدائرة لها محيط وقطر. المحيط هو الخط الذي يحيط بالدائرة، والقطر هو المستقيم الذي يصل بين نقطتين متقابلتين على المحيط مارا بالمركز. كل الدوائر التي نعرفها تتفق في شئ واحد. هو أنه لو قسمنا طول المحيط على طول القطر لحصلنا على نسبة ثابتة نسميها "ط".

ط هذه ليس لها علاقة بكبر أو صغر الدائرة. سواء كانت الدائرة في مساحة العملة المعدنية أو في مساحة ملعب كرة القدم أو أكبر أو أصغر، نسبة المحيط إلى القطر "ط"، ثابتة لا تتغير في جميع الدوائر. هذه النسبة قيمتها الحقيقية غير معروفة بالضبط، لكن قيمتها التقريبية تقدر ب 3.14 أو 22\7.

لكن إذا كنا نتكلم عن الفضاء وأبعاد النجوم وشعاع الضوء الذي ينحني، والأطوال التي تنكمش مع السرعة، لا تصلح لدينا القوانين التي تقول: إن مجموع زوايا المثل 180 درجة، ونسبة طول محيط الدائرة إلى قطرها هي "ط". لماذا؟

لأنه مثلا، إذا كان لدينا صاروخ يسير بسرعة تقدر بنصف سرعة الضوء ويدور في محيط دائرة. فإن طول محيط الدائرة سوف ينكمش بمقدار 13%. لكن القطر يظل ثابتا لأنه عمودي على الحركة. (الأطوال تنكمش في اتجاه الحركة فقط). بذلك تكون نسبة محيط الدائرة إلى القطر أصغر من ط بمقدار 13%.

لوكان لدينا شعاع يسير بالقرب من نجم كبير مثلا فسوف ينحني الشعاع ولن يصبح خطا مستقيما. الخطوط المنحنية إذا كونت مثلثا فإن مجموع زواياه قد تزيد عن 180 درجة أو تقل عن 180 درجة، حسب نوع الانحناءات هل هي محدبة أو مقعرة.



مجموع زوايا المثلث هنا أقل من 180 درجة

ريمان

وجد أينشتاين أن أفضل هندسة يمكن أن تساعده في حساباته هي هندسة ريمان. هذه الهندسة أسسها عالم الرياضيات الألماني بهرهارد ريمان عام 1854م. وهي لا تعمل في مستوى واحد مثل هندسة إقليدس، وإنما على أسطح منحنيات، كروية ومقعرة ومحدبة وعلى شكل سرج الحصان وغيرها.

لكي يستطيع أن يستفيد أينشتاين من هذه الهندسة، عليه أن يعيد كتابة معادلاته لكي تصف الحركة في فراغات منحنية وليست مستوية.

وجد أينشتاين أنه أمام عمل جبار، وأن نظرية النسبية الخاصة التي نشرها عام 1905م كانت بمثابة لعب عيال بالمقارنة بما ينوي الخوض فيه. وحيث أنه عالم فيزياء وليس عالم رياضيات، وجد نفسه مضطرا إلى الاستعانة بصديقة الوفي روسمان الحاصل على دكتوراة في الرياضيات، والذي يعمل بالتدريس منذ سنوات.

روسمان كان أكبر في السن من أينشتاين بسنة واحدة، وكان صديقا وفيا لأينشتاين أثناء الدراسة، وكان يعيره ملخصاتة وهي التي ساعدت أينشتاين على التخرج.

كان روسمان سعيدا بمساعدة أينشتاين، لكنه حذره بأنه غير مسؤول عن الناحية الفيزيائية في شطحات أينشتاين. مسؤولية روسمان تنحصر في جانب العلوم الرياضية فقط.

الثلاث سنوات التالية كانت أصعب السنوات بالنسبة لأينشتاين. بعد بدايات خاطئة كثيرة ونهايات غامضة غير سليمة، استكملت نظرية النسبية العامة. النظرية

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} R\, g_{\mu\nu} + \Lambda\, g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

معادلة المجال لأينشتاين

النهائية تحتوي على معادلات رياضية عالية المستوى وتطبيقاتها العلمية صعبة حتى على المتخصصين.

هذا لا يمنع اتفاق العلماء الآن على أن هذه النظرية الجميلة، ليست فقط أعظم أعمال أينشتاين، لكنها أيضا نظرية كاملة، تعتبر من أهم نظريات الفيزياء، بل من أعظم النظريات التي ظهرت في العلوم على الإطلاق.

بعد نشر نظرية النسبية الخاصة عام 1905م، قام البروفيسور هيرمان مينكوفسكي، أستاذ الرياضيات وأستاذ أينشتاين عندما كان طالبا، بتطوير مجموعة معادلات رياضية تعبر عن نظرية النسبية الخاصة باستخدام ثلاثة أبعاد للفراغ وبعد رابع للزمن. قام أينشتاين باستخدام هذه المعادلات في نظريته الجديدة، نظرية النسبية العامة.

فكرة استخدام الزمن كبعد رابع ليست غريبة علينا ونستخدمها طول الوقت. في هندسة إقليدس، ليس هناك زمن. عندما نستخدم الزمن في قياس سرعة وعجلة الأجسام المتحركة، نستخدمه كعنصر مستقل عن الفراغ والحجوم. لكن ليس هناك ما يدعو إلى فصل الزمن كبعد عن الفراغ بأبعاده الثلاثة. سأوضح ذلك.

إذا كانت النقطة تتحرك على الخط المستقيم. فهنا بعد واحد، يحدد مكان النقطة من بداية الخط. إذا كانت النقطة تتحرك في مستو، صفحة من كراسة مثلا. فإننا يمكن تحديد مكان النقطة ببعدها عن خط رأسي وخط أفقي. أي أننا نحتاج إلى بعدين لتحديد مكان النقطة.

إذا كانت النقطة أو الجسم في الفراغ، مصباح يتدلى من منتصف الغرفة مثلا. فيلزمنا ثلاثة أبعاد لتحديد مكان المصباح. بعده عن حائط ما، وبعده عن حائط آخر عمودي على الحائط الأول، وكذلك إرتفاع المصباح عن سطح الأرض. هذه الأبعاد الثلاثة تمكننا من تحديد مكان المصباح في أي مكان في الغرفة. في هذه الحالة لدينا أبعاد ثلاثة.

يلزم ثلاثة أبعاد لتحديد مكان المصباح

نحن الآن نتكلم عن أشياء، نقطة أو مصباح، ولا نتكلم عن أحداث. الأحداث تستلزم وجود بعد رابع هو الزمن. إذا اتفق اسماعيل على أن يقابل حسن في مطعم يقع بالدور الخامس في العمارة التي تقع في شارع كذا المتقاطع مع طريق كذا في تمام الساعة الواحدة ظهرا.

هنا يلزمنا أربعة أبعاد لكي يتم هذا الحدث. اسم أو نمرة الشارع، واسم أو نمرة الطريق القاطع لهذا الشارع، ورقم الدور الذي يوجد به المطعم، والبعد الرابع هو الساعة الواحدة ظهرا، أي الزمن.

الفرق بين الزمن والأبعاد الثلاثة الأخرى هو أنك تستطيع الحركة على هذه الأبعاد الثلاثة مجيئة وذهابا، يمينا وشمالا، إلى الأمام وإلى الخلف. لكن الزمن يسير في اتجاه واحد، إلى الأمام فقط. مثل السهم المنطلق من القوس، لا يرجع إلى الوراء.

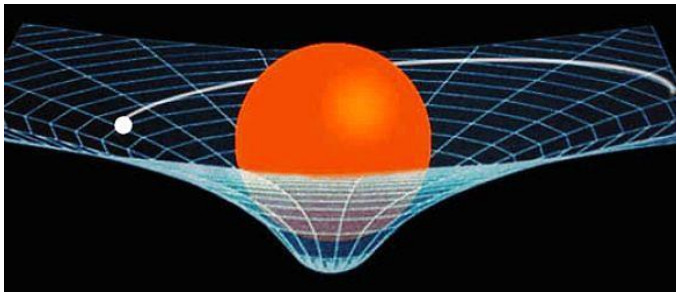
في الواقع، الفراغ بأبعاده الثلاثة يسير مع الزمن إلى الأمام، مثل القطار الذي يسير إلى الأمام، والزمن يمثل المحطات التي يمر بها. هذه فكرة الزمن كبعد رابع في نظرية النسبية. من الآن عندما نذكر الفراغ فنعني "الفراغ_زمن"، بأبعادة الأربعة بما فيها الزمن.

نظرية النسبية العامة تقول بأن كل جسم يمط أو يحني الفراغ حوله. هذا بالتالي يؤثر في أي جسم آخر يدخل في هذا الفراغ الممطوط. الفراغ الذي نتحدث عنه له أربعة أبعاد، من الصعب تصور انحنائه. لكن يمكن توضيح الفكرة في بعدين فقط.

تخيل مفرش سرير مشدود من أربعة أركان. سوف نجده في مستو أفقي. أما إذا وضع في وسطه كرة من الحديد مثلا. فإنها سوف تهبط من الوسط عن المستو، وتخلق مساحة هابطة حولها، بحيث إذا وضعت كرة صغيرة أخرى على المفرش، فإنها تنزلق لكي تصل إلى الكرة الحديد الأصلية.

من يشاهد ذلك يقول بأن الكرة الحديد جذبت الكرة الصغيرة، لكن في الواقع، انحناء المفرش هو الذي جعل الكرة الصغيرة تنزلق إلى المركز. إذا دفعنا الكرة الصغير في اتجاه عمودي، فإنها تدور حول الكرة الحديد.

كذلك الشمس تحني الفراغ حولها. الأرض وباقي الكواكب تدور حول الشمس. لا بسبب الجاذبية الشمسية، ولكن بسبب أن الفراغ حول الشمس منحني.

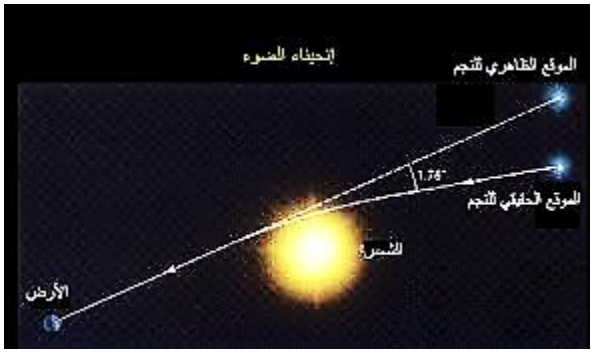


الشمس تحني الفراغ فتدور الكواكب حولها

في تجربة الصاروخ والثقب الذي ينفذ منه الضوء، وجدنا أن الضوء ينحني إلى أسفل. وقلنا أن حركة الصاروخ بعجلة، هي التي جذبت الضوء إلى أسفل. على كل حال، الفراغ داخل الصاروخ لا تنطبق عليه هندسة إقليدس. لأن الضوء لا يمشى في خطوط مستقيمة وليست مجموع زوايا المثلث 180 درجة و قيمة "ط" أقل من 3.14 وهذا ما نعني بالفراغ المنحني.

كان يعلم أينشتاين أن تأثير انحناء الفراغ على الضوء صغير جدا من الصعب قياسه. إننا نحتاج إلى كتلة ضخمة مثل الشمس لكي تجعل الضوء يحيد عن مساره بمقدار يمكن قياسه. حسب أينشتاين حيود الضوء من نجم معين يرافق الشمس باستخدام معادلاته.

عندما يظهر النجم ليلا يمكن تحديد مكانه، لكن عندما يظهر مع الشمس، يكون من الصعب رؤيته بسبب ضوء الشمس الساطع. علينا أن ننتظر كسوفا للشمس لمعرفة موقع النجم عندما يمر ضوؤه بالقرب من الشمس.



انحناء ضوء النجم بسبب مروره بالقرب من الشمس

في عام 1914م، قام فلكيون ألمان بالذهاب إلى روسيا لاختبار صحة نظرية أينشتاين بخصوص انحراف مسار الضوء لهذا النجم وقت كسوف الشمس. لكن بسبب ظروف

الحرب في ذلك الوقت، تم أسر الفلكيين الألمان وتدمير أجهزتهم. أطلق سراحهم فيما بعد، لكن البعثة باءت بالفشل الذريع.

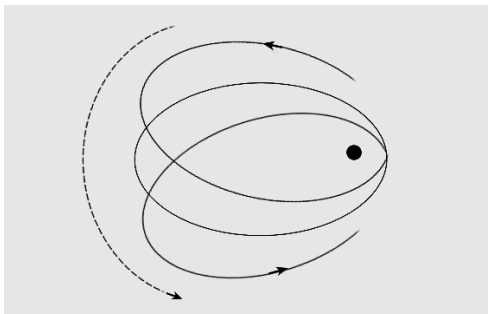
لحسن حظ أينشتاين أن البعثة فشلت. لأن حساباته لحيود مسار ضوء النجم لم تكن صحيحة. كانت معادلاته التي استخدمها خاطئة. لكن عندما نشر الصيغة النهائية لنظرية النسبية العامة عام 1916م، أعاد أينشتاين حساب حيود مسار ضوء النجم وجاء برقم جديد.

إدنجتون

في عام 1919م، قام عالم الفلكي البريطاني المشهور آرثر إدنجتون بتنظيم بعثة إلى جزيرة برنسيبي في غرب أفريقيا، لاختبار تنبؤ أينشتاين الجديد. لمدة 19 يوما قبل كسوف الشمس كان الجو صحوا والسماء صافية. لكن يوم الكسوف، كانت السماء ملبدة بالغيوم.

عندما بدأ كسوف الشمس، وأخذ قرص القمر يحجب قرص الشمس، لم يظهر أي نجم من وراء السحب. لكن لحسن الحظ، قليل من النجوم بدأت تظهر من وراء السحب في الخمس دقائق الأخيرة للكسوف. عندها قام إدنجتون بتصوير النجوم التي ظهرت في خمس لقطات فوتوغرافية.

عاد إدنجتون إلى إنجلترا لكي يفحص لوحاته الفوتوغرافية ويقوم بعمل حساباته. النتيجة أثبتت أن الضوء القادم من هذه النجوم، قد تغير مساره وانحرف ناحية الشمس بمقدار يطابق تماما المقدار الذي تنبأ به أينشتاين بإستخدام معادلاته الرياضية فقط.


مسار كوكب عطارد حول الشمس

لكي يتأكد أينشتاين أن معادلاته الخاصة بنظرية النسبية العامة صحيحة في كل الحالات، قام بتطبيقها أيضا على مشكلة مسار كوكب عطارد. لكن ما هي مشكلة عطارد هذه؟

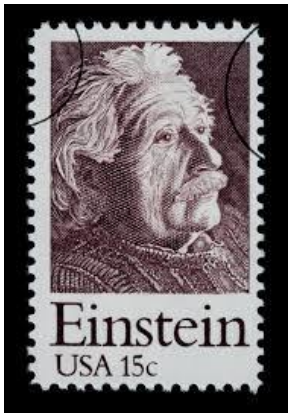
المسلمون كانوا متقدمين جدا في علم الفلك. رصدوا النجوم وصححوا أخطاء كتاب المجسطي في الفلك واخترعوا الاسطرلاب وخلافه، لكنهم كانوا أسرى مركزية الأرض، وفكرة أن الكواكب تدور حول الأرض في دوائر كاملة. جاء بعدهم كبلر ليقول بأن الأرض والكواكب تدور حول الشمس في مسارات إهليليجية (بيضاوية).

لكن الفلكي الفرنسي أوربين لي فيرير، اكتشف أن كل الكواكب تتبع قانون كبلر فيما عدا كوكب عطارد. فهو يدور في مدار بيضاوي غير كامل. بمعنى أنه قبل أن يقفل عطارد المدار البيضاوي، يقوم بالسير في مدار جديد. مثل الزنبرك أو اليأي. دائرة مفتوحة تقود إلى دائرة أخرى مفتوحة وهكذا.

لتفسير مدار عطارد الغريب دون باقي الكواكب، افترض علماء الفلك وجود كوكب آخر بجوار عطارد لم يكتشف بعد. بدأوا البحث عنه بين النجوم، لكن دون فائدة. ليس هناك كوكب آخر. ظلت المشكلة قائمة إلى أن ظهرت نظرية النسبية العامة.

قام أينشتاين بحساب انحناء الفراغ بالقرب من الشمس حيث يوجد مدار عطارد، وهو أقرب الكواكب إلى الشمس. معادلاته أوضحت أن عطارد لا يقوم بإتمام مساره البيضاوي بالضبط، مثل باقي الكواكب، لأن انحاء الفراغ بالقرب من الشمس يجذبه بعيدا عن المسار بمقدار صغير يعادل 42.98 جزء من 3600 جزء من الدرجة الواحدة. (الدائرة تساوى 360 درجة).

وهو رقم يتفق تماما مع حسابات الفلكيين التي تقدر درجة حيود عطارد بين 42.91 و 43.33 جزء. (الفلكيون دائما لا يستخدمون رقما واحدا للدلالة على قيم أرصادهم بسبب احتمالات الخطأ في عملية الرصد)



طابع بريد صدر تكريما لأينشتاين

بعد عودة إدنجتون إلى إنجلترا وإعلانه عن نتائج بعثته الفلكية، التي تطابق حسابات أينشتاين، أصبح أينشتاين موضوع مانشتات الصحف الكبرى في أوروبا وأمريكا. جريدة النيويورك تايمز نشرت عدة مقالات بعنوان: "ثورة في العلوم"، "نظرية جديدة لتفسير الكون"، "أفكار نيوتن لم تعد صالحة".

الصحف الأوروبية بدأت تبحث عن كتاب علميين وعلماء لتوضيح النظرية الجديدة للقراء. أحد الصحف الألمانية، وضعت صورة أينشتاين في صفحتها الرئيسية مع مانشيت يقول: "مارد جديد في التاريخ العالمي: البرت أينشتاين، الذي تعني أبحاثه تغيير مفاهيمنا للطبيعة والكون من حولنا. أبحاثه تجعله يقف إلى جوار كوبرنيق وكبلر ونيوتن". أصبح أينشتاين فجأة أشهر المشهورين في العالم.

أكمل أينشتاين نظرية النسبية العامة عام 1915م، وقام بتعديلها عام 1916م. بعد جهد جهيد دام ثمان سنوات بحثا عن المعادلات الصحيحة التي تمثلها. عند الانتهاء منها وصفها بأنها: "نظرية لا تقارن في الجمال"، و"أعظم اكتشافت حياتي".

وهي أوصاف يتفق معه فيها كل علماء الفيزياء. في مؤتمر تريستي بإيطاليا عام 1968م، قال العالم الانجليزى بول ديراك، أن نظرية النسبية العامة: "ربما تكون أعظم الاكتشافات العلمية التي ظهرت حتى الآن".

نظرية النسبية العامة يمكن تلخيصها في جملة واحدة وهي: "انحناء الفراغ يتوقف على كمية المادة والطاقة الموجودة فيه". النظرية مكونة من عشر معادلات رياضية، حلها في غاية الصعوبة ويتطلب تخصصا في الرياضيات التطبيقية على مستو عال جدا. حتى وقتنا هذا، لم تظهر سوى حلول قليلة لهذه المعادلات.

حسب نظرية النسبية ومعادلات أينشتاين، الشمس تمط الفراغ المحيط بها وتحنيه بطريقة تؤثر على أي جسم آخر يقع في هذا الفراغ، وتجعله يغير من حركته. الشمس ليست فقط هي التي تحني الفراغ المحيط بها، ولكن كل شئ. أنا وأنت والكرة الأرضية وباقي الكواكب والنجوم والمجرات.

لكن من الصعب قياس انحناء الفراغ بالنسبة للأشياء العادية أو حتى بالنسبة للكرة الأرضية. الأشياء الكبيرة مثل الشمس أو النجوم هي التي يمكن قياس انحناء أو إعوجاج الفراغ حولها. بالرغم من ذلك، فانحناء الفراغ بسبب الشمس يمثل جزئين في المليون. هذا الانحناء يمكن قياسه عمليا كما فعل الفلكي أيدينجتون، ويمكن إيجاده بالمعادلات الرياضية، وهذا ما فعله أينشتاين.

شوارتزشيلد

أول محاولة لاستخدام نظرية النسبية العامة لأينشتاين، كانت لعالم الفلك كارل شوارتزشيلد في نهاية عام 1915م. فبعد صدور نظرية النسبية العامة، بدأ كارل في تطبيقها على الفلك خارج النجوم.

افترض أن النجوم لا تدور حول نفسها حتى يبسط المعدلات الرياضية فيسهل حلها. بعد عدة أيام، استطاع كارل حل المعادلات بطريقة مبسطة جميلة. وأرسل النتائج إلى أينشتاين الذي سر بها وقام بعرضها في مؤتمر علمي في بروسيا عام 1916م.

بعد أيام قليلة، وصلت أينشتاين رسالة أخرى من شوارتزشيلد، يحسب فيها هندسة الفراغ داخل النجوم. قام أينشتاين أيضا بعرض الرسالة الثانية في مؤتمر علمي لعلماء الفيزياء. الرسالة الأولى والثانية لشوارتزشيلد أصبحتا النموذج والقياس الذي يحتذى به كل علماء الفيزياء.

لم يكن كارل شوارتزشيلد يرسل هذه الرسائل العلمية من مكتبه في الجامعة أو من أحد مراكز البحث العلمي. لكنه كان يرسلها من الجبهة الروسية في الحرب العالمية الأولى. لقد كان كارل متطوعا في الجيش الألماني.

قام بأبحاثه وهو يختبئ في الخندق وتحت ظروف في منتهي القسوة. وتنتهي القصة الحزينة بوفات شوارتزشيلد عن عمر يناهز الواحد والأربعين، بسبب عدوى أصابته وهو في الجبهة، وقبل أن يرى نتائج أبحاثه الرائعة باعتراف أينشتاين نفسه.

فكرة الثقوب السوداء لم تأت مع أينشتاين أو كارل شوارتزشيلد. بل كانت موجودة منذ عام 1700م. جاءت عندما نشر العالم الانجليزي جون ميشيل رسالة يبحث فيها حالة الضوء بالنسبة للنجم في نهاية عمره، عندما ينكمش حجمه بسبب نفاذ الوقود داخله، وتظل كتلته كما هي.

إذا ألقينا كرة رأسيا إلى أعلى، فإن الكرة ترتفع ثم تهبط إلى سطح الأرض. لو ألقيناها بقوة أكبر، فإنها ترتفع مسافة أكبر. إذا إستخدمنا مدفعا مثلا، فإن الكرة ترتفع إلى بعد شاهق، ولكنها تعود ثانية إلى الأرض. الكرة تعود إلى الأرض بسبب عجلة الجاذبية.

السرعة يجب أن لا تقل عن 11 كيلومتر في الثانية للتغلب على جاذبية الأرض

لكن هل يمكن أن نقذف الكرة بشدة بحيث تتغلب على عجلة الجاذبية ولا تعود ثانية إلى الأرض؟ نعم إذا قذفناها بسرعة لا تقل عن 11 كيلومتر في الثانية، فإن الكرة تغادر الأرض ولا تعود إليها. هذا ما يحدث عندما نطلق الصواريخ إلى القمر أو إلى الأجرام السماوية الأخرى.

بالنسبة لسطح الشمس، نحتاج إلى سرعة لا تقل عن 617 كيلومتر في الثانية لكي نهرب من جاذبية الشمس. الضوء سرعته 300 ألف كيلومتر في الثانية. لذلك يهرب بسهولة من الشمس ويصل إلينا وإلى الفضاء الخارجي.

لكن عندما يموت النجم وينكمش حجمه وتبقى كتلته كما هي، تزداد جاذبيته لأن سطحه يقترب من مركزه. في هذه الحالة، نحتاج إلى سرعة أكبر بكثير لكي نهرب من جاذبيته إذا كنا بالقرب من سطحه.

أدرك جون ميشيل أنه من الممكن أن يوجد نجم له حجم صغير وكتلة كبيرة جدا، وهذا ما يحدث للنجوم عندما تموت. في هذه الحالة، تكون جاذبيته كبيرة إلى الدرجة التي لا تسمح للضوء نفسه من الهرب إلى الفضاء الخارجي. ويصبح النجم في هذه الحالة نجم أسود أو ثقب أسود لا يهرب من جاذبيته شئ.

حسب ميشيل الحجم اللازم لكي يصبح النجم ثقبا أسود فوجد أن الشمس مثلا عليها أن تنكمش إلى كرة قطرها لا يزيد عن 6 كيلومترات لكي تتحول إلى ثقب أسود.

عندما حل شوارتزشيلد معادلات أينشتاين وهو في الجبهة الروسية، بدأت فكرة الثقوب السوداء تظهر من جديد. جاءت حسابات شوارتزشيلد مطابقة لحسابات ميشيل من قبل. أي أن الشمس عليها أن تنكمش إلى كرة قطرها 6 كيلومترات لكي تتحول إلى ثقب أسود لا يستطيع الضوء الهرب منه.

لكن هنا مشكلة. ميشيل كان يعتبر الضوء عبارة عن كرات صغيرة يمكن أن نقذفها إلى أعلى فتبطئ من سرعتها وتعود إلى الأرض. لكن النسبية الخاصة لأينشتاين تقول بأن

الضوء يسير بنفس السرعة ولا يمكن تغيير سرعته. فكيف حسب شوارتزشيلد حجم الثقب الأسود.

النسبية الخاصة لأينشتاين تقول بأن سرعة الضوء لا تتغير، ولا يمكن زيادتها أو نقصانها. لكن موجات الضوء يمكن تغييرها. النجوم والمجرات التي تبتعد عنا بسرعات كبيرة، نجد ضوءها يحيد في اتجاه اللون الأحمر. والنجوم التي تقترب منا يحيد ضوؤها في اتجاه اللون الأزرق.

مثل صوت القطار القادم إلينا نجده يختلف عن صوت القطار المبتعد عنا. لماذا؟ لأن القطار القادم، صوته مضغوط في اتجاهنا، والقطار المبتعد عنا صوته متخلخل بعيدا عنا. هذا ما يحدث للضوء، لكن سرعته لا تزال ثابتة. هذه الظاهرة تسمى ظاهرة دوبلر.

حسابات شوارتزشيلد وجدت أن الجاذبية الشديدة أو الفراغ المنحني يؤثر على موجات الضوء، وليس على سرعتة. كلما زادت الجاذبية زادت الخلخلة في موجات الضوء إلى أن تصبح مسطحة. في هذه الحالة لن يكون هناك ضوء.

هذه قصة نظرية النسبية العامة لأينشتاين. رائعة الروائع. تحكي انتصار العقل البشري ونضاله الحر. حكاية عظيمة بكل المعايير. تبين جهود الصفوة من العلماء والمفكرين. عمل جبار لحل لغز هذا الكون الذي نعيش فيه.

لم ينفرد أينشتاين بفعل كل شئ من الألف إلى الياء بمفرده كما هو الحال في بلادنا المنكوبة. لكنه وجد العون والتشجيع من أصدقائه وزملائه وأساتذته. ولم يخجل من الوقوف على أكتاف عمالقة سبقوه لكي يستفيد من أبحاثهم المنشورة. عمل جماعي فقدناه منذ أفلت شمس حضارتنا من زمن ولى وفات.

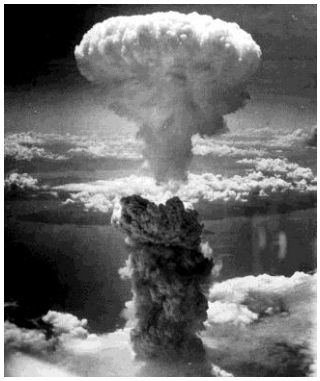
كان أينشتاين بمثابة القبطان الواعي المدرك لضخامة وخطورة العمل الذي يقوم به، قاد السفينة بمهارة فائقة ولم يعبأ بشدة الأمواج وقسوة الرياح وغزارة السيول. لم يخجل من تصحيح المفاهيم الخاطئة التي ثبت بطلانها. ولم يخف من مواجهة الباطل حتى ولو كان مألوفا ومستقرا في عقول الناس.

تواضع جم وعزيمة فولاذية وقناة لا تلين وإصرار ندر وجوده. عزم وكفاح لا نجده اليوم بين رجالنا المحترمين. شمعة من الشموع التي تضئ وتحترق لكي تنير للبشرية

طريقها إلى المعرفة الحقيقية. وياريت نقرأ ونتعظ ونتعلم، ونقلد هؤلاء العظام الذين قل أن يجود الزمان بمثلهم.

الباب التاسع عشر

القنبلة الذرية



القنبلة الذرية على ناجازاكي 1945

أهم وأخطر تطبيق لمعادلة أينشتاين الشهيرة الخاصة بمساوات الكتلة بالطاقة E=mc2، والتي قام بنشرها عام 1905م، هي القنبلة الذرية. ظهور هذه المعادلة مع تأثيث نظرية الكم، جعلت هذا العمل الشيطاني ممكنا.

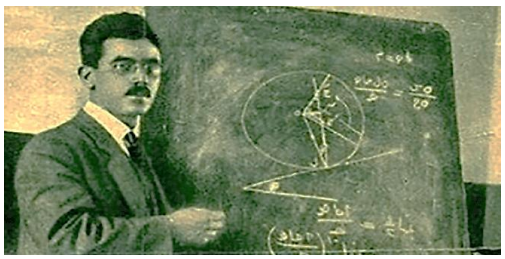
كيف حول العلماء هذه المعادلة البسيطة الجميلة والتي تبدو عليها ملامح البراءة والطهر، إلى شئ مريع وبشع؟ لم يكن الأمر مقصودا أو سهلا. لم يكن هدف العلماء في البداية صناعة القنابل أو أدوات الحرب. إنما كان الهدف هو معرفة تركيب المادة وكنهها، وفهم مكونات الذرة، وكيف تعمل القوانين التي تحكم هذا الكون الذي نعيش فيه.

لم تكن أبحاث الذرة جهد فرد واحد، إنما كانت ثمرة جهود علماء العالم كله. لقد راعهم وأفزعهم الكم الهائل للطاقة المخزونة في نواة الذرة. مارد جبار داخل القمقم. عفريت مصباح علاء الدين.

خروج المارد من القمقم

الصياد المسكين قام بنزع الغطاء. فخرج المارد إلى الوجود. شبيك لبيك كل ماتطلب بين إيديك. ماذا تريد؟ بنت السلطان، أم تدمير العالم؟ أأمر تطاع يا مولأي. الأمر متروك لك. مسألة خيار فقط لا غير. سكة سلامة وسكة ندامة.

في البداية كان الهدف علمي بحت، لوجه الله والمعرفة الخالصة. لكن تدخلت السياسة، وما أدراك ما السياسة. حولت كل الجهود النبيلة إلى ألاعيب شيطانية بهدف تطوير فنون القتل والتدمير والسيطرة. الباقي نعرفه جميعا. هيروشيما وناجازاكي. وأكثر من 300 قنبلة ذرية إسرائيلية. الآن أكثر من نصف علماء الفيزياء في الولايات المتحدة يعملون في البحرية الأمريكية لتطوير وتحسين أدوات القتل والتدمير.



مصطفى مشرفة باشا

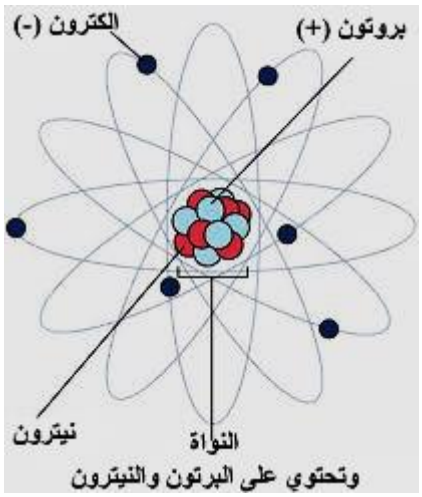
لم يشترك أينشتاين مباشرة في عمل القنبلة الذرية. كان يؤمن بالديموقراطية وبالحكومة العالمية ونزع التسلح وإلغاء الجيوش. كان يناهض الحروب بكل أشكالها. رفض أن يكون رئيسا لدولة إسرائيل عند قيامها. وكانت علاقته عظيمة بالدكتور مصطفى مشرفة باشا العالم المصري المشهور.

لكن بسبب ظهور النازية في ألمانيا، والخوف من سيطرة هتلر على أوروبا وتصنيعه للقنبلة الذرية، قام أينشتاين بتشجيع حكومة الولايات المتحدة على صناعة القنبلة الذرية. أرسل خطابا إلى الرئيس فرانكلين روزفلت عام 1939م، محذرا من احتمال توصل الألمان إلى القنبلة الذرية أولا. فقد كان لدى الألمان أعظم العقول المتخصصة في الذرة في ذلك الوقت. لكنه ندم على خطابه هذا أشد الندم، وكان يعتبره أعظم الأخطاء في حياته.

ليو سيلارد

في الواقع، أينشتاين لم يكتب الخطاب بنفسه. إنما كتبه عالم الذرة ليو سيلارد، وأغرى أينشتاين بتوقيعه. فقد كان أينشتاين يعيش في الولايات المتحدة منذ عام 1933م، بعد هروبه من ألمانيا خوفا من النازية. وجاء في الخطاب:
"سيدى: بعض أبحاث فيرمي وسيلارد التي قمت بمراجعتها، تجعلني أتوقع أن عنصر اليورانيوم من الممكن أن يتحول إلى مصدر هام جديد للطاقة في المستقبل القريب".

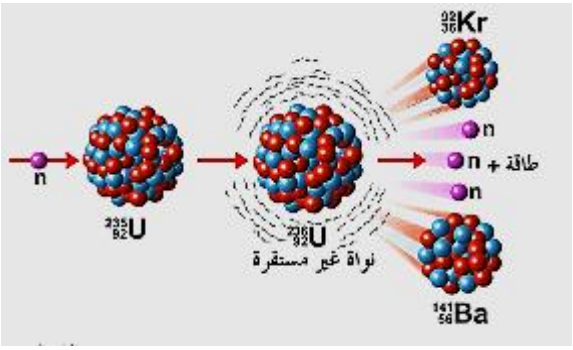
طاقة القنبلة الذرية تأتي من نواة الذرة. لذلك تسمى أيضا القنبلة النووية وهو الاسم الأدق، لكن الناس تعودت على الاسم الأول. الكتلة تتحول إلى طاقة حسب معادلة أينشتاين $E=mc^2$. هذه الطاقة تعرف بطاقة الربط أو الجذب أو الشد في النواة. لتوضيح ذلك، ومادمنا نتكلم عن الذرة، فيجب أن نعرف شيئا عن تركيبها وتكوينها.



تركيبة الذرة

الذرة تتكون من جسيمات صغيرة جدا. حتى العشرينات من القرن العشرين، كان معروفا أن الذرة تتكون من نواة وإلكترون أو أكثر. الإلكترون له شحنة سالبة ويدور حول النواة. مثل المجموعة الشمسية. الشمس تشبه النواة، ومجموعة الكواكب التي تدور حولها تمثل الإلكترونات.

نواة الذرة تتكون من نوعين من الجسيمات الصغيرة تسمى بروتونات ونيترونات. البروتون له شحنة موجبة تعادل شحنة الإلكترون. والنيترون متعادل الشحنة. كتلة النيترون تزيد قليلا عن كتلة البروتون. وكتلة البروتون تعادل 1836 ضعف كتلة الإلكترون.



ذرة اليورانيوم 235

كم عدد البروتونات والنيترونات والإلكترونات في الذرة؟ هذا يتوقف على نوع العنصر الذي نتكلم عنه. بعض العناصر مثل غاز الهيدروجين، ذرته بسيطة التكوين ومكونة من بروتون واحد في النواة، وإلكترون واحد يدور حولها (الأبحاث الحديثة تثبت أن الإلكترون عبارة عن سحابة تغلف النواة).

بعض العناصر معقدة التركيب مثل ذرة اليورانيوم.

اليورانيوم عنصر ثقيل، أثقل من الذهب. يوجد نوعان أو نظيران منه في الطبيعة. اليورانيوم 235، واليورانيوم 238. اليورانيوم 235، يرمز له بالرمز U-235، وهو مكون من 92 بروتون و143 نيترون و 92 إلكترون. أما اليورانيوم 238، ورمزه U-238، فيتكون من 92 بروتون و146 نيوترون و92 إلكترون.

اليورانيوم مثل البترول، لا يمكن تصنيعة متى نضب. لكنه يوجد في الطبيعة مختلطا بالصخور بكثرة في أنحاء متفرقة من العالم. النوع الأول، اليورانيوم 235 موضوعنا هنا، يوجد بنسبة 6 في الألف مختلطا بالنوع الثانى، اليورانيوم 238. من الصعب فصل النوع الأول عن النوع الثاني ويحتاج إلى تكنولوجيا عالية.

نحن في الواقع نتحدث عن ذرة في حجم الفيل بالنسبة لباقي الذرات. داخل النواة، 92 بروتون كل منها مشحون بشحنة موجبة. ونحن نعرف أن الشحنات المتشابهة تتنافر. فما الذي يجمع 92 قوة متنافرة مع بعض؟ الذي يجمع البروتونات مع بعضها هي طاقة الربط (Binding Energy).

نعرف أن النيوترونات متعادلة الشحنة. فما الذي يمنعها من التطاير في الفضاء وترك النواة؟ طاقة الربط أيضا هي التي تمنعها من ترك النواة. طاقة الربط تجعل نواة الذرة متماسكة إلى حد ما، بالرغم من وجود 235 أو 238 جسيم بداخلها تتنافر وتتوق إلى الهرب.

القوى الطبيعية التي تتحكم في هذا الكون عددها أربعة:

- قوة الجاذبية

- القوة الكهروماغناطيسية
- القوة الضعيفة
- القوة القوية

القوى الأربعة هذه هي التي تسير هذا الكون منذ بدأ الخليقة.

قوة الجاذبية، نعرفها جميعا وتمنعنا من التطاير في الفضاء. وهي ضعيفة إلى درجة أن مغناطيس صغير يمكنه رفع مسمار صغير والتغلب على جاذبية الأرض.

القوة الكهرومغناطيسية، هي المسؤولة عن الضوء وباقي الأشعة.

القوة الضعيفة، هي التي تجعل بعض العناصر الثقيل مشعة.

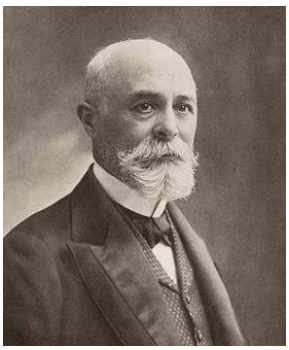
القوة القوية، قوة شديدة جدا وتعمل لمسافات قصيرة جدا. وهي التي تكون "طاقة الربط" التي تربط جسيمات النواة مع بعضها.

عندما نحك حبة سبحة بقطعة صوف، فإنها تفقد بعض الإلكترونات وتصبح مشحونة بشحنة موجبة. لأن القوة التي تربط الإلكترون بالذرة تعتبر ضعيفة جدا بالنسبة للقوة التي تربط جسيمات النواة ببعضها. القوة القوية هذه، تعادل ملايين المرات القوة التي تربط الإلكترون بالذرة.

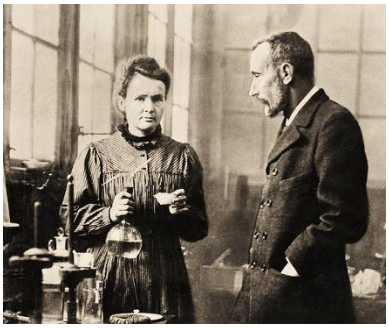
طاقة الربط التي تستخدم لربط جسيمات النواة (البروتونات والنيترونات) ببعضها وتمنعها من الانفراط، تستهلك جزءا من مجموع كتلة النواة. هكذا يقول أينشتاين. بذلك تكون كتلة مجموع مفردات مكونات النواة، أكبر من كتلة النواة وهي مجمعة. البيع بالجملة أرخص من البيع بالقطاعي. ذلك لأن جزءا من الكتلة قد تحول إلى طاقة ربط. هذه الظاهرة معروفة ب "نقص الكتلة".

في بعض الأحيان، طاقة الربط التي تحافظ على جسيمات النواة مع بعضها، تكون غير كافية. في عام 1896م، كان الفيزيائي الفرنسي هنري بيكويريل منبهرا بتجارب الأشعة السينية التي يقوم بها رونتجن في ألمانيا.

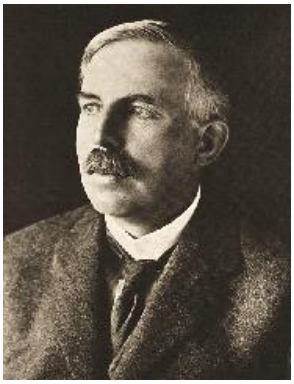
في معمله بمتحف التاريخ الطبيعى بباريس، بدأ بيكويريل تعريض شرائح فوتوغرافية لضوء الشمس، بعد طلائها بأملاح اليورانيوم. ظانا أن هذا سوف ينتج عنه أشعة إكس.


بيكوريل

في يوم ملبد بالغيوم، وضع بيكويريل الشرائح الفوتوغرافية في أحد الأدراج مع أملاح اليورانيوم. عندما قام بتحميض الشرائح وهو يعلم أنها لم تتعرض للشمس، وجد أنها قد تأثرت بأشعة قوية. هذه الأشعة القوية، لم تكن سوى أشعة أملاح اليورانيوم.


بيير وماري كوري

عندما علم بيير وماري كوري بما حدث لشائح بيكويريل من أملاح اليورانيوم، أخذا يبحثان عن عناصر أخرى لها خاصية الإشعاع. فوجدا أن عنصري الثوريوم واليورانيوم بنوعيه لهما خاصيتي الإشعاع. في عام 1898م، اكتشفا عنصرين آخرين هما البلونيوم (سمى باسم بلد ماري كوري، بولندا)، والراديوم (اسم يدل على نشاطه الإشعاعي Radioactivity).


رازرفورد

في إنجلترا، صمم إيرنست رازرفورد تجربة لفحص خاصية الإشعاع هذه. فوجد أن هذه الأشعة نوعان. أحدهما أكثر اختراقا للأجسام من الأخرى. الأشعة الأقل اختراقا لها شحنة موجبة، اسماها أشعة ألفا، والأخرى لها شحنة سالبة، أطلق عليها أشعة بيتا.

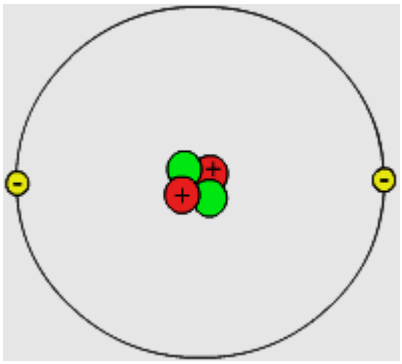
لماذا بعض العناصر لها خاصية الإشعاع هذه دون غيرها من العناصر؟ قوة الربط الموجودة في نواة الذرة قوية جدا، فكيف لا تبقي على جسيمات هذه الأشعة داخل النواة وتسمح لها بالهرب عن طريق الإشعاع؟

السبب هو أن قوة الربط الموجودة في النواة تعمل في مسافات صغيرة جدا. بمعنى أن جسيمات الذرة لابد أن تكون قريبة جدا من بعضها، أي تكاد تتلامس، حتى تبدأ هذه القوة في العمل. قوة الربط لا تعمل في المسافات البعيدة. تترك المجال لقوى التنافر بين شحنات البروتونات الموجبة، لكي تعمل عملها. فيقوم كل بروتون بدفع البروتون القريب منه خارج نواة الذرة وبذلك يحث الإشعاع.

في الذرة المستقرة، تتعادل قوى الربط بين جسيمات النواة مع قوى التنافر للبروتونات. النيترونات داخل النواة تؤثر عليها قوى الربط فقط. لأنها متعادلة الشحنة ولا تتعرض لقوى التنافر. إذا كان لدينا عدد كاف منها فإنها تعمل على استقرار النواة.

المشكلة تأتي من الذرات الكبيرة. هي مثل الحكومات الكبيرة والشركات الكبيرة. تصبح تحت ظروف معينة غير مستقرة. فمثلا، عندما يزيد عدد البروتونات داخل النواة عن 30 بروتون، تصبح القوى المؤثرة على البروتون الموجود في قلب النواة، مختلفة عن القوى المؤثرة على البروتون القريب من السطح. عندما يزيد عدد البروتونات زيادة كبيرة، قد تتغلب قوى التنافر على قوى الربط. بذلك تصبح الذرة غير مستقرة.

في هذه الحالة، تبدأ كتل صغيرة من النواة في الهرب. كل منها عبارة عن 2 بروتون و2 نيترون. وجد أن هذه الكتل، عبارة عن أنوية ذرات الهيليوم. أو ما يسمى بأشعة ألفا.



ذرة الهيليوم

النيترون المتعادل الشحنة، والذي يعمل على استقرار نواة الذرة، لما له من قوة ربط هو الآخر، وخصوصا عندما تكثر البروتونات المتنافرة داخلها، له خاصية غريبة. هو أنه لا يعيش طويلا خارج النواة. مثل السمك، يموت بسرعة خارج الماء. النيترون كذلك، إذا ترك النواة، فإنه يعيش فقط لمدة 15 دقيقة. ماذا يحدث له بعد ذلك؟

في الأنوية الكبيرة للذرات الغير مستقرة، النيترونات داخل النواة تظل كما هي ولا يسمح لها بالتغيير. أما الموجودة على السطح الخارجي للنواة، مثل البرتقال الموجود على وش القفص، يمكنه التحول إلى ثلاثة أشياء في نفس الوقت. بروتون وإلكترون وشئ جديد لم نسمع عنه من قبل اسمه نيوترينو. ألاعيب شيحة.

البروتون الناتج من التحول، يظل موجودا في النواة ولا يرغب في مغادرتها. لماذا؟ لأن النواة تسمح له بالإنضمام إليها مادام البروتون على السطح (العربية مليانة لكن الضيف الجديد يمكن أن يركب فوق السطح).

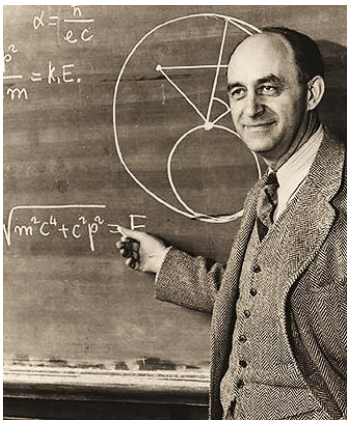
النواة لا تسمح بخلق بروتونات جديدة داخل قلب النواة، وإلا تحولت كل النيترونات في قلب النواة إلى الثلاث جسيمات المشار إليها بعد 15 دقيقة هي عمر النيترون الحر.

فقط النيترونات التي على السطح الخارجي هي التي تتحول، عندما تكون النواة غير مستقرة. الإلكترون والضيف الجديد النيوترينو، ليس لهما مكان داخل النواة. لذلك يخرجان من غير مطرود إلى رحاب الكون الخارجي. هذا ما يعرف بأشعة بيتا.

النيترينو له خاصية عجيبة لا ينافسه فيها أحد، فهو يستطيع أن يخترق جسمي وجسمك وحتى الكرة الأرضية وينفذ من الناحية الأخرى دون أن يصطدم بشئ.

النوع الثالث من الإشعاع الذي تم اكتشافه، ويأتى من أنوية الذرات الغير مستقرة أيضا، عبارة عن موجات كهرومغناطيسية مثل الضوء. تسمى أشعة جاما. ليس لها شحنة كهربائية. لكن طول موجتها صغير جدا وسريعة التردد.

في عام 1930م، عندما كان العلماء يطبقون مبادئ نظرية الكم على الذرة لمعرفة ماذا يحدث هناك، كانوا يبحثون أيضا عن طرق لتحويل النواة العادية إلى نواة مشعة. بهدف المعرفة وحب الاستطلاع فقط لا غير. لم يكن موضوع القنبلة الذرية في دماغ أحد منهم.



فيرمي

في عام 1934م، كان الفيزيائي الإيطالي إنريكو فيرمي يستخدم النيترونات من الذرات المشعة كقذائف موجهة إلى أنوية اليورانيوم. كان يعتقد أن تجربته هذه سوف تنتج عناصر أثقل من اليورانيوم، وليس عناصر جديدة. المعروف أن عدد البروتونات في النواه هو الذي يحدد نوع العنصر. ويسمى العدد الذري.

عدد البروتونات يحدد نوع العنصر، أما عدد النيترونات في النواة فيحدد أنواع النظائر. إذا تغير عدد البروتونات أو العدد الذري، تغير العنصر. أما إذا تغير عدد النيوترونات، مع بقاء العدد الذري ثابتا، فتصبح الذرة الجديدة نظيرا. مثلا هناك اليورانيوم ونظائر اليورانيوم، الكربون ونظائر الكربون. كلها تتساوى في العدد الذري ولكن تختلف في عدد النيوترونات.

عايدة نوداك

اعتقد فيرمي أنه نجح في تحويل ذرة اليورانيوم إلى ذرة أثقل، أي إلى نظير جديد. ونشر بحثه في المجلات العلمية. لكن عالمة كيمياء تدعى عايدة نوداك، كتبت مقالا قالت فيه أن فيرمي لم يأت بعنصر جديد، إنما قام، من حيث لا يدري، بتفتيت الذرة. تفتيت الذرة جاء عن طريق الخطأ.

قليل من علماء الفيزياء هم الذين قرأوا مقال عايدة نوداك، لأنه نشر في مجلة علمية تختص بشؤون علوم الكيمياء. الذين قرأوه لم يصدقوا أن فيرمي قد أخطأ في النتائج. فيرمي نفسه قرأ المقال، وأعاد بعض الحسابات. لكنه قرر أن عايدة مخطئة في استنتاجها.

ليز متنر

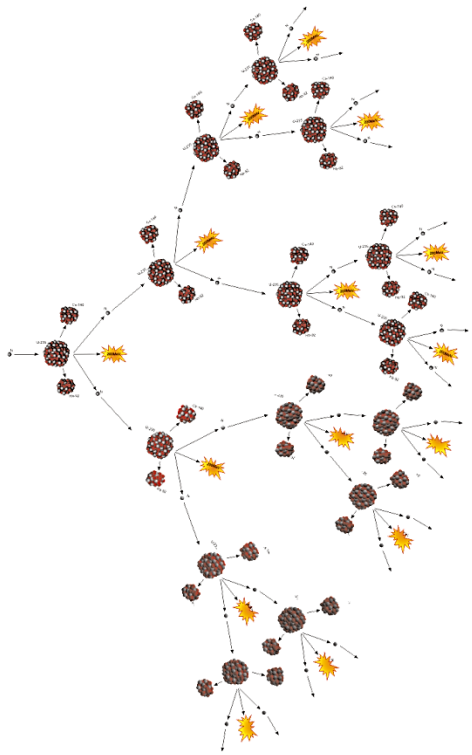
أيهما على صواب؟ فيرمي أم نوداك؟ الإجابة على هذا السؤال أتت بعد عدة سنوات في منتصف الحرب العالمية الثانية. على أيدي عالمة الذرة النمساوية ليز ميتنر ومجموعة الباحثين الذين يعملون تحت إشرافها. من قال أن المرأة لا تصلح أن تكون عالمة ذرة. ماري كوري وعايدة نوداك وليز ميتنر وسميرة موسى وغيرهن كثيرات.

قامت ليز ميتنر، هي ومجموعتها، بدراسة تجربة فيرمي لمدة أربع سنوات متواصلة. في نهاية الدراسة، شرحت بالتفصيل ما فعله فيرمي بالضبط. فيرمي اكتشف إنشطار الذرة وهو لا يدري. انشطار الذرة هو أول خطوة عملية في صناعة القنبلة الذرية.

في عام 1938م، ذهبت ليز ميتنر لزيارة ابن أختها في كوبنهاجن أوتو فريش الذي كان يعمل باحثا في معهد نيل بور. أثناء السير على الجليد في صباح يوم قارس البرد، بدأ الإثنان يناقشان تجربة فيرمي وموضوع إنشطار ذرة اليورانيوم. قامت ميتنر بحساب معادلة أينشتاين في رأسها $E=mc^2$، فوجدت أن كمية الطاقة الناتجة من الانشطار هائلة.

الطاقة الناتجة من انشطار نواة ذرة واحدة من اليورانيوم، صغيرة نسبيا وتبلغ جزء من ترليون(مليون مليون) جزء من الطاقة المستخدمة في رفع كرة السلة من الأرض إلى صدر إنسان متوسط الطول. لكن هذه الطاقة تصبح مهولة إذا أطلقت من كل الذرات في وقت واحد. عدم إطلاقها في نفس الوقت لن يأتي بالنتيجة المرجوة.

عالم واحد كان دائم التفكير في تصنيع القنبلة الذرية. هو ليو سيلارد، الذي ورط أينشتاين وجعله يوقع الخطاب المرسل للرئيس روزفلت. في عام 1932م، جاء ليو سيلارد بفكرة أن النيوترونات أفضل من أشعة ألفا في قذف نواة اليورانيوم 235. وجاء سيلارد أيضا بالطريقة التي تجعل كل طاقات الأنوية المنشطرة تنطلق في آن واحد.



قذائف النيترون لليورانيوم في سلسلة تفاعلات

كانت فكرة سيلارد هي أننا نبحث عن عنصر، عندما نقذفه بنيترون واحد، فإنه يطلق إثنين أو أكثر من النيترونات. النيترونات المنطلقة، سوف تقذف أنوية جديدة. فتنطلق أربع نيترونات أخرى. والأربعة تصبح ثمانية. وهكذا في سلسلة تفاعل، ينتج عنها كمية هائلة من الطاقة.

سرعان ما بدأ التفكير في صناعة القنبلة الذرية لزوم الحرب بعد خطاب أينشتاين إلى الرئيس روزفلت. كانت فكرة استخدام النيترونات في سلسلة التفاعل التي اقترحها سيلارد، هي موضوع الساعة. عندما فكر فيها سيلارد، لم يكن إنشطار الذرة قد أكتشف بعد. ولم يكن أحد يعرف أن نواة الذرة الكبيرة يمكنها أن تنقسم إلى ذرتين باستخدام قذائف بطيئة من النيترونات.

في عام 1942م، استطاع إينريكو فيرمي في معمله في مدينة شيكاجو توليد أول سلسلة تفاعلات نووية. فيرمي كان قد ترك بلده الأصلي، إيطاليا، هربا من موسوليني والحكم الفاشستي، ولجأ إلى الولايات المتحدة.

في سلسلة تفاعلات فيرمي، كتلة نواة اليورانيوم 235 قبل التفاعل بالإضافة إلى النيترونات التي نستخدمها كقذائف، كانت أكبر من كتلة الأجزاء المتفتتة بعد سلسلة التفاعل. كل ذرة يورانيوم 235 يتم تفتيتها، تتحول إلى ذرة باريوم + ذرة كربتون + 3 نيوترون. معادلة أينشتاين تخبرنا أن الفرق في الكتلة، ينطلق كطاقة عندما تنشطر نواة اليورانيوم.

فيرمي لم يسمح بالتفاعلات داخل معمله بالانطلاق بدون حدود. وإلا حدث إنفجار مروع داخل معمله. فقد كان يتحكم في سلسلة التفاعلات عن طريق استخدام مواد ماصة للنيترونات، مثل قضبان الكربون. لكن داخل القنبلة الذرية، سلسلة التفاعلات تنطلق بدون أي سيطرة أو تحكم.

لكي يحدث الانفجار، نحتاج إلى كمية كافية من اليورانيوم 235 لمساندة واستمرار سلسلة التفاعل. نحتاج إلى تصميم جيد يجعل التفاعل يبدأ في الوقت المناسب. 52 كيلوجرام من اليورانيوم 235 كاف لبدء التفاعل. لذلك تسمى كمية اليورانيوم هذه بالكتلة الحرجة. اليورانيوم 238 لا يصلح للانشطار بالرغم من وجوده بكثرة.

إذا كانت لدينا الكتلة الحرجة من اليورانيوم 235، فإنها تبدأ في الإنفجار من نفسها. أي نيترون سايب يمكنه أن يشعل التفاعل. داخل القنبلة الذرية، الكتلة الحرجة تتكون فقط عند وقت الإنفجار.

القنبلة التي ألقيت على المدنيين في هيروشيما في اليابان في 6 أغسطس عام 1945م، وهو يوم أسود في تاريخ الإنسان مهما قيل في تبريره، كان اسمها الولد الصغير(منتهي البراءة).

الولد الصغير، القنبلة الذرية، في طريقها إلى الطائرة

كانت على شكل سيجار سميك. اليورانيوم 235 داخلها منفصل إلى جزئين، كل جزء أقل من الكتلة الحرجة. عندما يلتقي الجزءان، تتكون الكتلة الحرجة وتبدأ سلسلة التفاعل والإنفجار. الإنفجار يحدث في الجزء العاشر الأخير من الميكروثانية. هذا ما يجعل قوة الانفجار مدمرة للغاية. لأن الطاقة تنطلق في وقت واحد.

بعد عدة سنوات، قامت الولايات المتحدة بتصنيع قنبلة أخرى أقوى آلاف المرات من القنبلة الذرية. هي القنبلة الهيدروجينية. تعمل تماما مثل الشمس. شمسنا العظيمة هذه والتي تعطينا الدفئ والحياة، ما هي إلا قنبلة هيدروجينية ضخمة. يعني نحن مدينون بحياتنا لقنبلة هيدروجينية.

القنبلة الهيدروجينية لا تعمل بالانشطار النووي، إنما تعمل على العكس، بالالتحام أو الانصهار النووي. الانصهار النووي عبارة عن صهر نواتين من عناصر خفيفة من نظائر الهيدروجين.

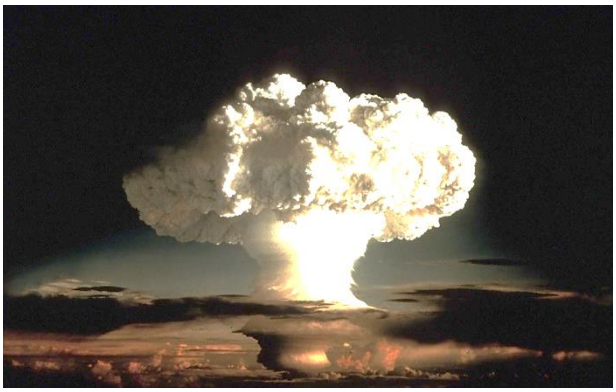
نظائر الهيدروجين

كما قلنا سابقا أن بعض العناصر لها نظائر. غاز الهيدروجين هو أيضا له نظائر. أحدها يسمى ديوتيريوم له نواة بها بروتون واحد ونيترون واحد، ونظير آخر اسمه تريتيوم، نواته بها بروتون واحد و2 نيترون. بالطبع الهيدروجين العادى، نواته بها بروتون واحد وبس.

لو صهرنا نواة ديوتيريوم مع نواة تريتيوم، لحصلنا على نواة جديدة لعنصر الهيليوم، التي تتكون من 2 بروتون و2 نيترون. ويتبقى نيترون حر طليق. معادلة أينشتاين الشهيرة $E=mc^2$، تخبرنا أن كتلة أنوية نظائر الهيدروجين، أكبر من كتلة الهيليوم الناتج مضافا إليها النيترون الطليق. أين الفرق في الكتلة؟ يتحول إلى طاقة هي طاقة القنبلة الهيدروجينية.

مشكلة التقنية في القنبلة الهيدروجينية هو كيف نقوم بصهر أنوية نظائر الهيدروجين مع بعضها والتغلب على قوى التنافر الموجودة بين البروتونات، وهي قوى شديدة جدا. مثل قوى التنافر بين أقطاب المغناطيس المتشابه؟

لكي نفعل ذلك، لا بد أن نقوم بتقريب الأنوية مع بعضها إلى درجة تقترب من التلامس حتى تبدأ القوة القوية، أي قوة الربط، في العمل. كما قلنا سابقا أن القوة القوية، وهي إحدى القوى الأربعة التي تتحكم في هذا الكون، لا تعمل إلا في مسافات صغيرة جدا.

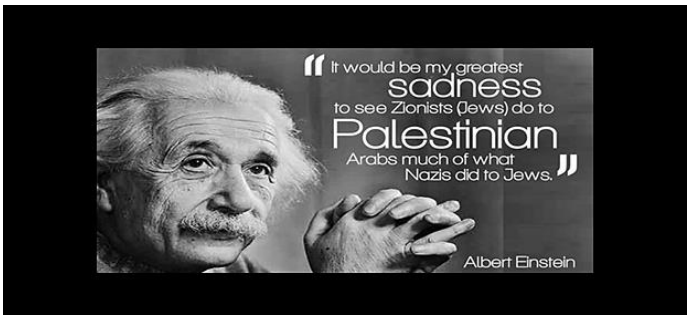

أول تجربة أمريكية للقنبلة الهيدروجينية

الحل هو إحاطة أنوية الهيدروجين المراد صهرها بقنبلة ذرية عادية. عندما تنفجر القنبلة الذرية العادية، الطاقة المتولدة منها تقوم بدفع أنوية الهيدروجين إلى الداخل فتقترب من بعضها إلى مسافات صغيرة جدا ويحدث الانصهار. النتيجة، صناعة شمس أخرى على الكرة الأرضية. الاسم الأصح للقنبلة الهيدروجينية هو القنبلة الشمسية. كارثة أخرى وعمل شيطاني آخر يهدد مستقبل الجنس

البشري.

القنبلة الذرية صنعت خوفا من ألمانيا النازية، لكنها لم تستخدم ضد ألمانيا. لأن الحرب مع ألمانيا كانت قد انتهت في مايو عام 1945م. لكن القنبلة أسقطت على المدنيين في هيروشيما وناجازاكي باليابان لتنهي الحرب العالمية الثانية.

بعد الحرب العالمية الثانية، بدأ النظر إلى أينشتاين على أنه أبو القنبلة الذرية. لكنه كان يكرة هذا اللقب بشدة. رفض الاشتراك مع مجموعة العلماء التي شكلها الرئيس الأمريكي روزفلت لتصنيع القنبلة.



من دواعي حزني العميق أن أرى الصهيونية تفعل بالفلسطينيين العرب ما كان يفعله النازي باليهود، ألبرت أينشتاين

كان أينشتاين يقول باستمرار: "لو كنت أعرف أن المانيا لن تستطيع عمل القنبلة الذرية، لما كنت أيدتها أو أرسلت خطابي إلى الرئيس روزفلت". وسبق في عام 1921م، أن قال أينشتاين: "أنا أرفض وبدون حدود أي عمل، مباشر أو غير مباشر، يخدم أغراض الحرب." من أقواله المأثورة: "قتل الناس عمل مقزز".

عندما قام أينشتاين بزيارة الولايات المتحدة عام 1930م، جاء في مقال له نشرته جريدة نيويورك تايمز: "لو 2% من المطلوبين للتجنيد في كل الدول رفضوا الالتحاق بالجيش، وطالبوا بأن تحل كل المنازعات الدولية بالطرق السلمية، لأصبحت الحكومات عاجزة عن إشعال الحروب. الحكومات لا تستطيع أن تضع كل هذا العدد من الناس في المعتقلات".

بعد الحرب وحتى وفاة أينشتاين عام 1955م، كان يناهض التسلح النووي، ودائم المطالبة بنزع السلاح وتدمير الأسلحة النووية. تدمير هذا الشيطان الذي خرج من القمقم ولا نعرف كيف نعيده إليه. يكفي أن نعرف أن الغواصة الحربية العادية في هذه الأيام، تحمل قوة تدمير نووية تعادل 25 ضعف قوة المتفجرات التي ألقيت في الحرب العالمية الثانية كلها. فأي مصير ينتظر البشرية ونحن نتسابق في فنون أسلحة القتل.

الفهرس

مقدمة
الباب الأول ص3
كيف ظهرت نظرية الكم من حطام النظرية الكلاسيكية

الباب الثاني ص14
أول الغيث قطرة

الباب الثالث ص24
ما هو الضوء ومن أين يأتي؟

الباب الرابع ص42
الطبيعة الموجية للمادة

الباب الخامس ص56
الموجة الاحتمالية

الباب السادس ص63
مبدأ عدم اليقين لهيزنبرج

الباب السابع ص71
ألاعيب شيحة والقفز من فوق الأسوار

الباب الثامن ص79
الإلكترون سحابة حول النواة

الباب التاسع ص89
الغوص في أعماق الذرة

الباب العاشر ص98
قوة ربط النواة وأنفاقها

الباب الحادي عشر ص106
النواة قطرة سائلة

الباب الثاني عشر ص115
أشعة بيتا والنيوترينو

الباب الثالث عشر ص123
الفراغ الكوني ليس فراغا

الباب الرابع عشر ص133
كيف خلقت المادة من الفراغ

الباب الخامس عشر ص138
رحلة إلى أعماق النواة

الباب السادس عشر ص146
مما تتكون الذرة

الباب السابع عشر ص153
أينشتاين والنسبية الخاصة

الباب الثامن عشر ص176
نظرية النسبية العامة لأينشتاين

الباب التاسع عشر ص192
القنبلة الذرية

تعريف بالمؤلف

الاسم: محمد زكريا توفيق

المؤهلات: ماجستير فى الرياضة البحتة من كلية الهندسة جامعة نيويورك 1973م

ماجستير فى علوم الكمبيوتر من كلية العلوم جامعة نيويورك 1983م

دراسات فى الرياضيات التطبيقية تعادل الدكتوراه من معهد كورانت بجامعة نيويورك

الخبرة: أكثر من 40 سنة فى مجال الكمبيوتر حيث كان يعمل مديرا للتخطيط والبرمجة فى عدة بنوك أمريكية منها البنك الفدرالى الأمريكى.

نشرت له العديد من المقالات العلمية والثقافية والسياسية فى صحافة مصر والخارج

يعيش الآن فى مدينة نيويورك
zakariael@att.net